



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

Avaliação da Qualidade de Compostos de Borrás de Café na Produção de Plantas Aromáticas

Carina do Rosário Oliveira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais

Orientador: Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda

Co-orientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Júri:

PRESIDENTE: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

VOGAIS: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Lisboa, 2011

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Cristina Queda, por toda a ajuda, paciência e trabalho.

Ao Professor Henrique Ribeiro, meu co-orientador por toda a disponibilidade prestada.

À Eng. Christine Morais pela ajuda prestada na parte prática da minha dissertação. Sem esquecer as meninas do laboratório, a todas muito obrigada.

Às pessoas mais importantes da minha vida: aos meus pais e irmãs, obrigada por todo o apoio, ajuda e compreensão ao longo de todos estes anos.

Ao Carlos por toda a amizade, compreensão e ensinamentos destes últimos cinco anos.

Aos amigos que ficaram e aos que vieram desta grande casa que é o ISA.

A todos muito obrigada!

Resumo

Cada vez mais a compostagem apresenta-se como uma alternativa viável à deposição em aterro dos resíduos orgânicos, com todos os problemas que esta opção acarreta. O composto enquanto recurso rico em matéria orgânica é uma mais-valia para os solos e, consequentemente, para a agricultura portuguesa.

O principal objectivo deste trabalho é avaliar a qualidade dos compostos de borras de café na produção de plantas aromáticas. Esta avaliação foi realizada através dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos das amostras recolhidas do composto antes e depois de ser crivado. A avaliação da estabilidade/maturação realizou-se através do teste do auto-aquecimento e da actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4). Por fim, a avaliação da fitotoxicidade do composto foi determinada através do índice de crescimento utilizando as espécies basílico (*Ocimum basilicum* L.), coentros (*Coriandrum sativum* L.), salsa (*Petroselinum crispum* L.) e o agrião (*Lepidium sativum* L.)

Os resultados mostram que as características das borras de café reflectem-se no composto final resultante da compostagem destas. O composto final de borras de café apresenta, de um modo geral, características interessantes do ponto de vista da sua utilização na formulação de substratos orgânicos para a produção de plantas aromáticas e até mesmo a aplicação na agricultura.

Palavras-Chaves: Compostagem, Borras de café, Qualidade dos compostos, índice de Crescimento, Plantas aromáticas.

Abstract

Increasingly, composting is presented as a viable alternative to deposition in landfills of organic wastes, with all the problems/issues that this option causes/entails. The product, the compost, as it is rich in organic matter is an asset to the soils and, therefore, to the Portuguese agriculture.

The main objective of this study is to assess the quality of the composts produced from spent coffee grounds for the production of aromatic herbs. This evaluation was accomplished through physical, physical-chemical and chemical characterization of compost samples before and after being sieved. The stability / maturation of the composts was evaluated using the self-heating and the respiratory activity after four days test (AT4). Finally, the evaluation of the phytotoxicity of the composts was determined by the rate of growth using basil (*Ocimum basilicum* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.), parsley (*Petroselinum crispum* L.) and cress (*Lepidium sativum* L.).

The results show that the characteristics of the coffee grounds are reflected in the final composts. The final spent coffee grounds composts presented, in general, interesting characteristics in terms of its use in the production of aromatic herbs and even in agriculture.

Key-Words: Composting, Spent coffee grounds, Compost quality, Growth index, aromatic herbs.

Extended Abstract

Portugal, as a member of the European Union, needs to decrease the amount of waste sent do landfill to achieve the Community goals, which is strongly linked to the increase of the population. For this reason a better management of the organic waste must be followed. Nowadays, the most common destination is the landfill, which has to be avoided. The other composting present itself as a technology that helps to accomplish the goals set by the EU and the product obtained is rich in organic matter and can be used to improve the quality of the soils.

Composting is a waste treatment technology that has the objective of organic waste recovering. The resulting end product - compost - can be used as a substrate or fertilizer to help increase the organic matter in soils. The spent coffee grounds are a nutrient-rich organic waste and its characteristics are reflected in the composts resulting from composting. The characteristics and nutrients present in the composts may be used in the soil of Portugal, both in the production of aromatic plants and in agriculture. The use of compost improves the soil structure and nutrition of the species used, since one of the major problems is the Portuguese soils is their low content of organic matter.

The aromatic herbs production is growing in Portugal and is becoming an emerge economically profitable activity. The use of composts of spent coffee grounds in the production of aromatics herbs is an added value in this sector due to its chemical, physico-chemical and mineral elements.

The main objective of this study is to assess the quality of the composts produced from with spent coffee grounds in the production of aromatic herbs. This evaluation was accomplished through physical, physical-chemical and chemical from samples of the composts before and after being sieved. The stability / maturation of the composts was evaluated using the self-heating and the respiratory activity after four days test (AT4). Finally, the evaluation of the phytotoxicity of the compound was determined by the rate of growth using basil (*Ocimum basilicum* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.), parsley (*Petroselinum crispum* L.), and cress (*Lepidium sativum* L.).

Results showed some variations in some of the physical, chemical and physico-chemical, but in general the composts, sieved and non sieved presented similar characteristics. As for the

The concentration of minerals, zinc and copper, is lower than those referenced in the Regulation (EEC), which regulates the organic production of agricultural products and indications referred on agricultural products and foodstuffs, making possible its application in the soil. This theory is reinforced by the national proposal for the technical specifications and use of quality compost, and according this last one the composts are classified as Class I, the highest class of quality.

Key-Words: Composting, Spent coffee grounds, Compost quality, Growth index, aromatic herbs.

Índice Geral

1.	Introdução	1
2.	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1	Enquadramento	3
2.2	Compostagem.....	5
2.3	Factores que influenciam o Processo de Compostagem e a sua Evolução	8
2.3.1	Temperatura.....	8
2.3.2	pH.....	10
2.3.3	Teor de Humidade.....	11
2.3.4	Arejamento	11
2.3.5	Nutrientes e Relação C/N.....	12
2.3.6	Granulometria do Material.....	13
2.4	A qualidade dos compostos.....	14
2.4.1	Parâmetros de qualidade (estabilização/maturação) para compostos	14
2.5	Substratos orgânicos	16
2.6	Fertilizantes (orgânicos e inorgânicos)	17
2.6.1	Fertilizantes orgânicos.....	17
2.6.2	Fertilizantes inorgânicos (ou minerais)	19
2.7	Borras de Café.....	20
2.7.1	Caracterização das borras de café.....	20
2.8	Utilização de Compostos na Formulação de Substratos Orgânicos	25
3.	Material e Métodos.....	28
3.1	Materiais.....	28
	Basílico – <i>Ocimum basilicum</i> L.	28

Coentros - <i>Coriandrum sativum</i> L.	28
Salsa - <i>Petroselinum crispum</i> L.	28
Agrião – <i>Lepidium sativum</i> L.	28
3.2 Métodos	29
3.2.1 Parâmetros Físicos e Físico-químicos	29
• Temperatura.....	29
• Massa Volúmica	30
• Teor de Humidade.....	30
• pH e Condutividade Eléctrica	30
3.2.2 Parâmetros Químicos	30
• Matéria Orgânica e Carbono Orgânico Total	30
• Azoto Amoniacal (N-NH_4^+)	31
• Azoto Nítrico (N-NO_3^-).....	31
• Azoto Total.....	31
• Relação C/N	31
• Elementos Minerais.....	32
3.2.3 Avaliação da Estabilidade/Maturação	32
• Teste do auto-aquecimento	32
• Actividade Respiratória ao fim de 4 dias (AT4)	32
3.3 Análise Estatística dos Resultados.....	34
4. Resultados e Discussão	35
4.1 Produção e Caracterização do Composto	35
4.2 Ensaios de Crescimento	40
5. Conclusões.....	46
6. Referências Bibliográficas.....	48

Anexos

Índice de Figuras

Figura 1 – Resíduos Urbanos por operação.	3
Figura 2 – Caracterização Física dos RSU em Portugal Continental em 2009, valores expressos em percentagem.....	4
Figura 3 – Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia	9
Figura 4 – Curva das principais variações de pH durante a compostagem	11
Figura 5 – Temperaturas médias registadas em vários locais (topo, meio e base) na pilha de compostagem.....	35
Figura 6 – Temperatura média registada na pilha de compostagem.....	36
Figura 7 - Aspecto geral do ensaio.	43
Figura 8 – Aspecto geral do ensaio de crescimento com o Basílico. A: Ensaio com o solo artificial. B: Ensaio com o solo artificial + composto.....	44

Índice de Quadros

Quadro 1 – Composição mineral das borras de café	21
Quadro 2 – Características físico-químicas de cafés com moagem fina	21
Quadro 3 – Valores mínimos e máximos para a composição mineral de cafés com moagem fina.....	22
Quadro 4 – Características físico-químicas das borras de café com moagem fina	23
Quadro 5 – Características físico-químicas de cafés com moagem grossa	23
Quadro 6 – Valores mínimos e máximos para a composição mineral de cafés com moagem grossa	24
Quadro 7 – Características físico-químicas das borras de café com moagem grossa.	24
Quadro 8 - Materias utilizados processo de compostagem.....	36
Quadro 9 – Caracterização Física e Físico-Química dos compostos Crivado e Não-Crivado.	37
Quadro 10 – Caracterização Química dos Compostos Crivado e Não-Crivado.....	38
Quadro 11 – Elementos Minerais.....	39
Quadro 12 – Parâmetros de Estabilização (Teste do auto aquecimento e AT4) para os Compostos Crivado e Não-Crivado.....	40
Quadro 13 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para o basílico.	41
Quadro 14 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para a salsa.	41
Quadro 15 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para os coentros.	42
Quadro 16 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para o agrião.	42
Quadro 17 – Índice de Crescimento (IC) para as espécies vegetais ensaiadas.	44

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”

Lavoisier

1. Introdução

Com o aumento demográfico e o aumento da qualidade de vida das populações surge a problemática dos resíduos. Tornando-se necessário encontrar alternativas para o seu tratamento ou valorização, ou seja, os sistemas de gestão precisam de ser mais sustentáveis e eficientes. O verdadeiro problema é que os resíduos orgânicos apresentam características que quando depositados no meio ambiente levam à sua degradação e podem afectar a saúde pública. Estas características prendem-se sobretudo com o teor de metais pesados, micropoluentes orgânicos e microrganismos patogénicos, e como tal, têm vindo a ser produzidos, nomeadamente nos países desenvolvidos, documentos legislativos e normativos, regulamentos e códigos de boas práticas visando a redução e valorização dos resíduos orgânicos, contemplando as diversas componentes da sua gestão, desde a produção e processamento até à utilização na agricultura (Gonçalves, 2005).

Associado a este facto, as condições climáticas e orográficas de Portugal, conjuntamente com as práticas culturais desajustadas, conduziram ao empobrecimento dos solos agrícolas nacionais em matéria orgânica (MO), nomeadamente no centro e sul do país. Torna-se, assim, imprescindível contrariar a tendência para a depauperação desta importante componente do solo, recorrendo, entre outras medidas, ao aproveitamento de resíduos orgânicos cujas características lhes confirmam interesse agrícola (Gonçalves, 2005).

Desde tempos imemoriais que o Homem reconhece o facto de que a transformação biológica natural de diversos resíduos orgânicos origina determinados produtos, os quais, quando aplicados ao solo, permitem a manutenção dos rendimentos das culturas (Santos, 1993).

Segundo o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II, 2007), uma das estratégias nacionais é a redução de resíduos urbanos biodegradáveis destinados aos aterros sanitários, assim é necessário encontrar alternativas para estes tipos de resíduos. A solução poderá passar pela potencial valorização agrícola ou energética.

Neste sentido, as borras de café, enquanto resíduos orgânicos biodegradáveis podem ser valorizados, através de tratamentos biológicos, ou seja, por processos aeróbios (compostagem) ou anaeróbios (degradação anaeróbia ou biogaseificação). Tendo em atenção os locais onde são produzidas em maiores quantidades, cafés, restaurantes e

similares, a separação na fonte e a recolha selectiva deste tipo de material apresenta-se viável, o que constitui um factor essencial para a qualidade dos produtos obtidos a partir destes materiais. Para além da inerente valorização destes resíduos, é de destacar que a retirada de resíduos orgânicos do seu destino final mais comum – o aterro sanitário - irá contribuir para o alcançar das metas a que Portugal se comprometeu.

Com efeito, a tecnologia de compostagem como processo bioenergético de transformação da matéria orgânica presente nos resíduos biodegradáveis permite o seu tratamento/valorização e é uma das soluções propostas nas linhas de orientação da Comunidade Europeia, para minimizar a deposição de resíduos biodegradáveis em aterro, que permite conciliar a protecção ambiental e a valorização destes materiais com fertilizantes orgânicos (Cunha-Queda *et al.*, 2005).

As borras de café são um resíduo com características muito interessantes do ponto de vista da sua valorização agronómica e como tal neste trabalho pretende-se avaliar a qualidade do composto de borras de café na produção de plantas aromáticas.

Assim, o principal objectivo deste trabalho é a avaliação da qualidade de compostos de borras de café para a produção de plantas aromáticas. Na tentativa de contribuir para a formulação dum substrato orgânico com o composto resultante da compostagem de borras de café. Para tal, foram analisados vários parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e avaliação da fitotoxicidade do composto através da determinação do Índice de Crescimento (IC), realizado em ensaio com: o basílico (*Ocimum basilicum* L.), os coentros (*Coriandrum sativum* L.), a salsa (*Petroselinum crispum* L.) e o agrião (*Lepidium sativum* L.).

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Enquadramento

Os assuntos relativos à preservação do Ambiente estão na ordem do dia. Entre a multiplicidade de questões que esta atitude coloca a descoberto, conta-se a problemática da remoção e eliminação dos resíduos produzidos pela sociedade (Ferreira *et al.*, 1983).

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), em 2008 foram recolhidos 5 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 64% tem, ainda, como destino os aterros sanitários, 19% a valorização energética, 9% a recolha selectiva e 8% a valorização orgânica (Figura 1).

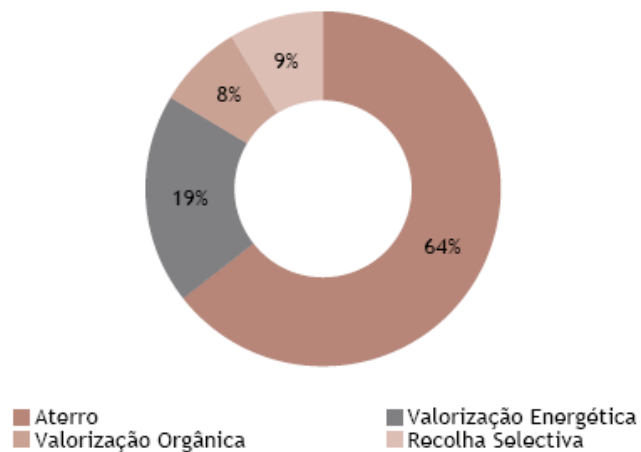


Figura 1 – Resíduos Urbanos por operação (fonte: INE, 2008).

A gestão destes resíduos, quer pela quantidade, quer pelas características diversificadas dos materiais que os compõem, representam hoje em dia um problema a que é necessário dar resposta urgente, num enquadramento ambientalmente adequado e de forma sustentável (Piedade *et al.*, 2010).

Destes diferentes tratamentos resultam produtos que podem ser posteriormente reutilizados em diferentes sectores da economia, como por exemplo, na agricultura ou ainda na produção de energia em vários sectores.

Os resíduos sólidos são definidos como o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza e composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações (Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho). Este tipo de resíduos pode ser valorizados e reencaminhados para diferentes sectores, como por exemplo, os resíduos florestais e agrícolas (estrumes e chorumes de animais), resíduos dos lagares e adegas, as borras de café, óleos alimentares usados (OAU), entre muitos outros.

As principais características físicas dos RSU, recolhidos em 2009 em Portugal Continental, são apresentadas na Figura 2:

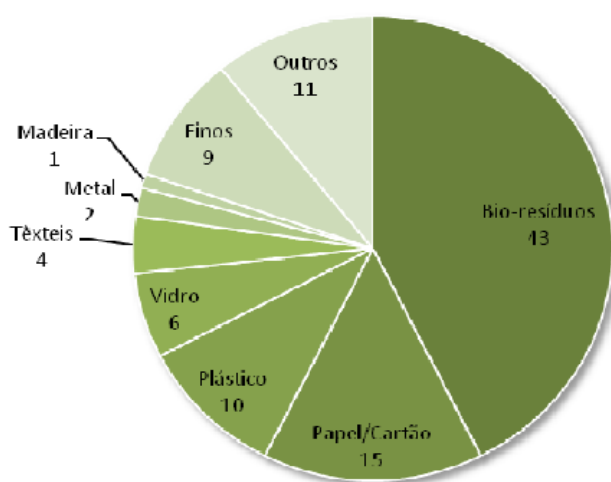


Figura 2 – Caracterização Física dos RSU em Portugal Continental em 2009, valores expressos em percentagem (fonte: MRRU, citado em www.apa.pt).

Assim, podemos concluir que 43% dos RSU são bio-resíduos e como tal podem ser valorizados através dos vários processos já enumerados, conduzindo a novos produtos.

Por conseguinte, existem sistemas de tratamento que podem minimizar os efeitos poluentes dos resíduos e simultaneamente convertê-los num produto de elevado valor fertilizante e até mesmo numa fonte de rendimento (Baptista, 1997). Cunha-Queda (2006) acrescenta que os resíduos orgânicos provenientes da restauração (como por

exemplo: restaurantes, cantinas escolares, etc.), e provenientes de actividade agrícola (como por exemplo: os subprodutos da actividade vinícola), constituem biomassas com grande potencialidade para serem valorizadas através de compostagem. Estes tipos de resíduos, designados resíduos orgânicos biodegradáveis (ROB), apresentam características físicas e químicas, que na maioria das situações, e desde que seja realizada a separação na fonte e recolha selectiva dos mesmos, permitem o seu tratamento/valorização com vista à reciclagem da matéria orgânica, conduzindo à obtenção de produtos finais de qualidade, ricos em matéria orgânica estabilizada e que podem ser utilizados para fins agrícolas (Cunha-Queda, 2006).

Com efeito, a aplicação de técnicas de bioconversão apropriadas a estes resíduos representam um recurso válido, especialmente em regiões cujas economias, têm os seus pilares na agricultura (Baptista *et al.*, 2000).

Na agricultura, como em qualquer actividade económica, o proponente da actividade deseja sempre retirar o maior proveito económico-financeiro das suas culturas, mas impõem-se o problema: da nutrição das plantas e da fertilização das culturas. Para obter uma maior produtividade do solo é assim necessário manter um teor de matéria orgânica relativamente elevado.

2.2 Compostagem

A compostagem tem vindo a afirmar-se cada vez mais, como uma tecnologia de reciclagem, tratamento e valorização de resíduos orgânicos face à crescente produção de resíduos. A obtenção de composto visa a conversão de um material, num produto cuja aplicação, na agricultura, não traz prejuízo para o solo e plantas e que poderá beneficiar os mesmos (Cintra, 2003).

Segundo Queda (1999), a compostagem é uma tecnologia adequada ao tratamento, à reciclagem e à valorização de biomassa, como por exemplo a fracção orgânica de resíduos sólidos urbanos, resíduos orgânicos de origem agro-pecuária, agro-industriais e florestal, assumindo cada vez mais importância em virtude da produção de resíduos e, em especial a dos resíduos sólidos urbanos (RSU) ter aumentado nos últimos anos. Acrescenta ainda que se trata de um processo aeróbio controlado de biooxidação de substratos heterogéneos biodegradáveis, resultante da acção dos microrganismos (bactérias, actinomicetas e fungos) naturalmente associados aos substratos, durante o qual ocorre uma fase termófila, a libertação temporária de

substâncias com efeito fitóxico e a biomassa sofre profundas transformações (mineralização e humificação parciais) sendo o principal produto final, designado “composto”, estável, higienizado e homogéneo. Refere ainda que o processo de compostagem pode apresentar diversas vantagens, destacando-se as seguintes:

- i) redução do volume, da massa e do teor de humidade dos resíduos tratados;
- ii) estabilização química e biológica dos materiais putrescíveis;
- iii) obtenção de produtos com interesse agrícola, os compostos.

Gonçalves (1999) afirma que o método de compostagem consiste na decomposição da matéria orgânica biodegradável dos RSU nas suas componentes mais simples (aminoácidos, ácidos gordos de baixo peso molecular, açúcares solúveis) seguida da reorganização de parte destes no sentido da constituição de compostos húmicos estáveis de elevado peso molecular (ácidos húmicos). O processo é da responsabilidade de microrganismos aeróbios (e alguns facultativos) é ao contrário do que sucede na natureza, levado a efeito em condições controladas (nomeadamente de arejamento, temperatura e humidade) por forma a maximizar o desenvolvimento dos vários grupos taxonómicos que se sucedem (e têm funções específicas) ao longo do mesmo.

Gonçalves (2005) definiu compostagem como a decomposição controlada, por via aeróbia, dos resíduos orgânicos. Acrescentou que assenta, fundamentalmente, no empilhamento dos resíduos orgânicos para, deste modo, permitir a conservação do calor no interior da massa dos resíduos, com o duplo objectivo de:

- i) facultar a acção dos microrganismos mesófilos, cujos níveis óptimos de desenvolvimento ocorrem a temperaturas entre os 15 °C e os 45 °C, e dos termófilos, que actuam a temperaturas entre os 45 °C e os 60 °C, uma vez que se observou serem os mais eficientes na decomposição da matéria orgânica;
- ii) criar condições para a inactivação dos microrganismos patogénicos e parasitas, que são sensíveis às elevações de temperatura e perdem em competição com a flora indígena.

Vallini (1995a) define compostagem como um processo biooxidante (que ocorre apenas na presença de oxigénio molecular), exotérmico, promovido por microrganismos (bactérias, actinomicetas, fungos) naturalmente associados aos substratos a compostar, na qual a biomassa heterogénea putrescível sofre em tempo relativamente

breve (algumas semanas) profundas transformações físico-químicas (“maturação”), com perda de putrescibilidade (estabilização), ocorrendo paralelamente a mineralização e a humificação parciais da matéria orgânica.

Após, uma avaliação e caracterização, adequada, o composto resultante pode ainda ser aplicado ao solo. Segundo Martinho *et al.* (2000), o composto de boa qualidade caracteriza-se por ser rico em matéria orgânica, mantendo ou aumentando as reservas de húmus, necessárias à manutenção ou melhoria das propriedades do solo como estrutura, capacidade de conservação da humidade; fornece às plantas, a uma taxa adequada, nutrientes primários como azoto, fósforo e potássio, e um grande número de microelementos; permite a diminuição do uso de fertilizantes comerciais; reduz o potencial poluidor da agricultura intensiva, devido a nutrientes, como o azoto, serem introduzidos no solo num estado químico que limita a sua solubilidade e consequente arrastamento. Queda (1999) acrescenta que a separação na origem e a recolha selectiva de resíduos sólidos são, pois, fundamentais para que o produto obtido através de compostagem – “composto”, tenha qualidade.

Para a agricultura, o composto constitui uma fonte de matéria orgânica devidamente estabilizada para os solos. Para a maioria dos solos nacionais os quais apresentam teores abaixo dos níveis críticos neste componente a aplicação de compostos tem especial interesse e pode substituir parcialmente a turfa na formulação de suportes das culturas. O composto maturado pode ser utilizado em solos destinados a culturas arbóreas e arbustivas (vinha, olival, pomares, etc.), culturas arvenses, pastagens, floricultura, horticultura, relvados, etc., no caso em que o espalhamento e a incorporação sejam efectuados num período inferior a três semanas antes da sementeira ou plantação ou no caso de certas culturas já implantadas em que o composto possa contactar com as raízes como, por exemplo, em prados, pastagens, pomares e relvados (Anónimo, 2008).

A cinética da compostagem avalia-se pela taxa de decomposição dos resíduos orgânicos e a sua eficiência é determinada pelas: características do substrato, sendo o suporte físico de todo o processo, retêm a água, garante as trocas gasosas, fornece energia e nutrientes essenciais aos microrganismos envolvidos no processo e assegura a manutenção do calor necessário; pela quantidade e diversidade de microrganismos necessários ao processo e pelos factores ambientais existentes no início e durante o processo, influenciando as condições necessárias para a

sobrevivência desses microrganismos e que necessitam de controlo durante todo o processo (oxigénio, temperatura e humidade) (Gonçalves, 2005).

2.3 Factores que influenciam o Processo de Compostagem e a sua Evolução

Os principais factores que influenciam o processo de compostagem são os que afectam, directa ou indirectamente o metabolismo dos microrganismos que são responsáveis pela decomposição dos resíduos e sua transformação num produto estável e rico em substâncias húmicas — o composto (Queda, 1999).

Os principais factores que afectam o metabolismo de decomposição da celulose são: a disponibilidade de azoto, o arejamento, a temperatura, a humidade, o pH, a presença de outros hidratos de carbono e a presença de lenhina (Pereira Neto, 1987), sugerindo que a aplicação de azoto inorgânico em materiais celulósicos em compostagem (de elevado C/N) acelera a sua decomposição (Russo, 2003).

2.3.1 Temperatura

Durante a oxidação da matéria orgânica disponível (fonte de energia e de nutrientes), parte da energia é utilizada pelos microrganismos para o seu próprio metabolismo, sendo a restante libertada na forma de calor. A temperatura da biomassa em compostagem é, pois, um reflexo da actividade dos microrganismos presentes, sendo resultante da acumulação de calor gerado metabolicamente (Queda, 1999).

Assim, de acordo com Queda (1999), a evolução da temperatura no processo de compostagem é caracterizada pela existência de três fases:

- i) fase mesófila inicial (fase de arranque),
- ii) fase termófila
- iii) fase mesófila final (arrefecimento gradual).

Segundo Queda (1999) na fase mesófila inicial (fase de arranque) a temperatura da biomassa começa a aumentar devido à acumulação de energia na forma de calor; corresponde a uma temperatura entre a temperatura ambiente e 40 °C; predominam

os microrganismos mesófilos. Na fase termófila dá-se um aumento da temperatura da biomassa para valores entre 40 °C e 60 °C-70 °C devido à actividade dos microrganismos mesófilos, e que por auto-limitação, dão lugar aos microrganismos termófilos. Por fim, a fase mesófila final (arrefecimento gradual) dá-se novamente por acção da própria actividade, os microrganismos termófilos acabam por ser inibidos, provocando um decréscimo da temperatura para valores abaixo dos 40 °C, voltando a predominar os microrganismos mesofílos.

Russo (2004) acrescenta, que numa pilha de compostagem, as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior de forma decrescente, quando aeróbias, com um perfil típico (Figura 3).



Figura 3 – Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbia (fonte: Russo, 2004).

A temperatura mostra-se, assim, como um dos factores determinantes no processo de compostagem.

Devido às temperaturas alcançadas durante o processo (na ordem dos 60 °C), ocorre a eliminação de alguns organismos patogénicos, sementes e outros órgãos de propagação, reduzindo a transmissão de doenças (Ferreira *et al.*, 2002).

Como limitações deste processo podem ser enunciadas: a necessidade de maior área de terreno disponível para montar as pilhas comparativamente com outros processos de tratamento/valorização de resíduos; os cuidados a ter ao longo do processo para evitar maus odores ou desidratação do material; a necessidade de triagem prévia do material de modo a evitar a presença de produtos com decomposição lenta e a presença de metais pesados (Teodoro, 2006).

2.3.2 pH

Matéria orgânica com pH variando de 3 a 11 pode ser compostada, apesar de valores próximos da neutralidade (5.5 a 8) serem considerados os melhores porque é nesta faixa que os microrganismos melhor se adaptam. Geralmente no início do processo de compostagem o pH tende a decrescer para valores baixos, próprios da acção das bactérias formadoras de ácidos na decomposição de material carbonáceo complexo em ácidos orgânicos complexos (Russo, 2003).

Ao longo do processo de compostagem, o pH varia devido às transformações que ocorrem no substrato (Cordeiro, 2010).

Assim, na figura 4 estão as quatro fases principais da evolução do pH (Mustin, 1987):

- i) Fase I: o pH diminui – é uma fase de acidificação, ocorrendo a produção intensa de CO_2 e de ácidos orgânicos; predominam os microrganismos mesófilos;
- ii) Fase II: o pH aumenta, devido à produção de azoto na forma amoniacal proveniente da hidrólise do azoto orgânico por intermédio de microrganismos heterotróficos aminizantes e amonificantes, com a consequente produção de amoníaco – é uma fase de alcalização; predominam os microrganismos termófilos;
- iii) Fase III é caracterizada pelo início da estabilização do pH – o amoníaco produzido na fase anterior diminui quer devido à sua volatilização quando as condições assim o favorecem (temperatura e pH elevados), quer por acção das bactérias nitrificantes que o oxidam da forma amoniacal à forma de nitrito e, posteriormente, à forma de nitrato. O azoto também é utilizado pelos microrganismos para a biossíntese das substâncias húmicas;
- iv) Fase IV: o valor do pH tende para a neutralidade. Esta estabilização do pH deve-se às reacções de maturação e ao poder tampão do húmus.

Os valores de pH na maior parte dos compostos varia entre 6,0 e 8,0. Contudo, o valor final de pH de um composto depende muito das matérias-primas e do processo de compostagem usado. Uma acidez ou uma alcalinidade excessivas podem danificar as raízes das plantas, inibir o desenvolvimento das mesmas, assim como o seu crescimento (Stoffella e Kahn, 2004).

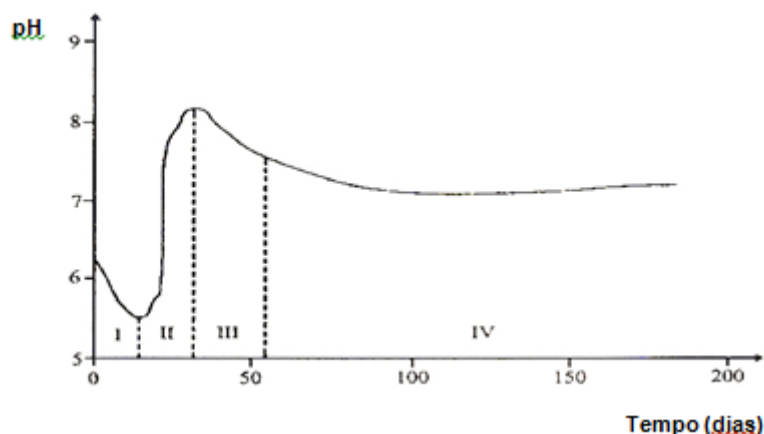


Figura 4 – Curva das principais variações de pH durante a compostagem (fonte: Mustin, 1987).

2.3.3 Teor de Humidade

Segundo Vallini (1995b) as biomassas a compostar deverão ter teores de humidade compreendidos entre 45% e 65%. Para teores de humidades inferiores a 40%, a actividade microbiana decresce, e para valores superiores a 65% a água expelle o ar da maior parte dos interstícios existentes entre as partículas da biomassa, o que dificulta a difusão do oxigénio e pode originar condições de microaerofília ou mesmo de anaerobiose Vallini (1995b).

Brito (2005) também considera que o teor de humidade indicado para o processo de compostagem situa-se entre os 50% e os 60%. Para valores de humidade abaixo dos 35%-40% a decomposição da matéria orgânica é fortemente reduzida. Uma humidade superior a 65% retarda a decomposição, a água ocupa os espaços vazios da matéria impedindo a circulação de oxigénio criando condições de anaerobiose nomeadamente nas zonas localizadas no interior da pilha da compostagem, originando maus cheiros, para além de permitir a lixiviação de nutrientes e lixiviados potencialmente poluentes.

2.3.4 Arejamento

As principais funções dum correcto arejamento do material em compostagem são as seguintes: garantir as necessidades de oxigénio aos microrganismos aeróbios, remover o excesso de calor (principalmente por evaporação da água), remover o

vapor de água para permitir a secagem do material e a remoção dos gases resultantes da decomposição (CO_2 , NH_3 , etc.) do interior da massa de compostagem (Fernandes, 1999).

O arejamento da massa em compostagem deve ser constante para que não se alterem as actividades metabólicas dos microrganismos e o processo de degradação da matéria orgânica seja mais rápido por via da oxidação de moléculas orgânicas presentes na massa. O arejamento é o factor mais importante para o controlo de diversos parâmetros da compostagem, dadas as funções de: fornecimento de oxigénio para os microrganismos, por forma a que este nunca seja inferior ao mínimo exigido aerobiamente; factor de controlo da temperatura, evitando o excesso de temperatura e de humidade no processo de compostagem; e remoção de odores (Epstein *et al.*, 1976; Pereira Neto, 1986).

Níveis inadequados de oxigenação podem levar ao crescimento de microrganismos anaeróbios, causando assim emissão de gases de cheiro desagradável. Ao contrário, uma oxigenação adequada minimiza este inconveniente (Russo, 2003).

Brito (2005) também refere que o arejamento da pilha favorece a oxigenação, bem como a secagem e o arrefecimento no seu interior. Fornece o oxigénio para actividade biológica, remove a humidade da biomassa em compostagem, remove calor diminuindo a temperatura e diminui a emissão de odores desagradáveis. A falta de oxigénio leva a um ambiente redutor resultando daí compostos incompletamente oxidados.

2.3.5 Nutrientes e Relação C/N

A quantidade de nutrientes pode ser um factor que limita o crescimento e o desenvolvimento dos microrganismos que intervêm no processo de compostagem. É, por isso importante que haja um equilíbrio dos macroelementos como sejam o carbono, azoto, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (Queda, 1999).

Na compostagem, têm especial interesse os teores de carbono e de azoto, pois constituem elementos das células microbianas presentes no processo (Russo, 2003).

O carbono tem 3 funções fisiológicas principais: a) é constituinte do material celular; b) funciona como electrão dador em metabolismos energéticos (respiração de substratos orgânicos e fermentação); c) funciona como electrão receptor em reacções

metabólicas de energia (fermentação, redução do CO_2 em CH_4). Por seu lado, o azoto: a) é constituinte de proteínas, ácidos nucleicos, co-enzimas e aminoácidos; b) funciona como electrão dador em reacções metabólicas de energia de certas bactérias; c) na forma de nitrito e de nitrato actua como electrão receptor em reacções metabólicas de energia da bactéria da desnitrificação sob condições anaeróbias (Russo, 2003).

Brito, 2005 acrescenta que o carbono é importante uma vez que, para além de ser fonte de energia para actividade dos microrganismos, representa cerca de metade da massa das células microbianas. Por outro lado, o azoto é essencial para a composição de proteínas as quais representam aproximadamente metade da biomassa microbiana.

Queda (1999), refere que se tivermos uma mistura com uma relação C/N elevada em que o carbono se encontre em excesso, o azoto, em deficit, é o factor limitante. Pelo contrário, se a relação C/N for baixa, encontrando-se o azoto em excesso, o factor limitante será o carbono disponível.

No que respeita aos micronutrientes essenciais para o metabolismo dos microrganismos em geral estes encontram-se em quantidades suficientes nos materiais orgânicos originais utilizados na compostagem (Brito, 2005).

2.3.6 Granulometria do Material

Queda (1999) refere que a porosidade, a estrutura e a textura da matriz inicial estão relacionadas com as características físicas dos materiais que a constituem como sejam formato, dimensão e resistência à compactação das partículas da biomassa e podem influenciar o processo de compostagem no que respeita ao arejamento. Outra característica importante é a densidade aparente da mistura que, em simultâneo com as outras características, nos pode indicar a possível compactação da biomassa.

No documento U.S.EPA (1995) é referido que materiais de menores dimensões têm uma maior área de contacto, facilitando a actividade dos microrganismos à sua superfície, diminuindo o tempo de compostagem. Contudo, se o tamanho das partículas for excessivamente pequeno, vai provocar uma diminuição dos espaços intersticiais, dificultando a circulação de oxigénio e de água U.S.EPA (1995).

2.4 A qualidade dos compostos

Um factor importante é a qualidade do composto, em especial quando este é utilizado para fins agrícolas. Esta qualidade depende dos cuidados que se verificam ao longo de todo o processo de compostagem, da tecnologia utilizada, das matérias-primas, do grau de estabilidade e de maturação do produto final bem como do seu conteúdo em matéria orgânica e presença de substâncias potencialmente perigosas e indesejáveis ao ambiente e às normas de qualidade (Teodoro, 2006).

A obtenção de um produto de qualidade, isto é, higienizado, homogéneo, estável e maturado, e cuja aplicação ao solo não tenha efeitos adversos para o ambiente (Queda, 1999), exige uma motorização ao longo de todo o processo. A monitorização proporciona a informação necessária para manter a elevada qualidade do processo e consequentemente do produto final – o composto (U.S.EPA, 1995). Através da monitorização do processo de compostagem é possível efectuar correcções de forma a obter-se a qualidade desejada.

No entanto, a qualidade do composto esta intimamente ligada às matérias-primas utilizadas, bem como, às suas características físicas, físico-químicas, químicas e biológicas. Brito (2005) refere que é frequente utilizar uma mistura de materiais ricos em carbono com outros ricos em azoto. Os materiais ricos em carbono fornecem matéria orgânica e energia para o processo e os materiais azotados aceleram o processo, pois são indispensáveis para o crescimento dos microrganismos. Os materiais para compostagem não devem conter vidros plásticos, tintas, óleos, metais, pedras ou outras substâncias que prejudiquem o processo de compostagem (Brito, 2005) e diminuem a qualidade do composto final (Teodoro, 2006).

Contudo, Vallini (1995a) considera que a compostagem na perspectiva de um processo orientado para a produção de compostos, tem sempre como objectivo o tratamento de resíduos orgânicos com vista à produção de correctivos orgânicos do solo compatíveis com a utilização agrícola.

2.4.1 Parâmetros de qualidade (estabilização/maturação) para compostos

O grau de estabilização das biomassas e da maturação dos produtos obtidos através do processo de compostagem – os compostos -, é desde há muito objecto de numerosos estudos, a partir dos quais os vários autores têm proposto diferentes

parâmetros para a sua avaliação. Verificando-se que, não existe um único parâmetro que, por si só, permita avaliar a qualidade dos compostos. Outros pontos de controvérsia são as definições de estabilização e de maturação, e por sua vez, a diferença entre composto estabilizado e composto maturado (Queda, 1999).

Como referimos o processo de compostagem decorre em duas fases: a activa e a de acabamento (*curing*). O conhecimento dos fenómenos que ocorrem em cada uma das fases é extremamente importante para a distinção entre os conceitos de composto estabilizado e composto maturado (Queda, 1999).

Muitos são os autores que definem os dois conceitos (estabilização e maturação) de formas diferentes. Esta diferença prende-se sobretudo nos critérios que se baseiam a caracterização do grau do composto.

He *et al.* (1992) referem que a maturação de um composto, a qual, pode ser definida como o grau de estabilidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, é um factor importante que afecta o sucesso da utilização agrícola dos compostados bem como os impactos ambientais provocados pela utilização dos mesmos.

Por exemplo, para Iannotti *et al.* (1993) os parâmetros mais adequados para avaliar o grau de maturação do composto são os ensaios de germinação e de desenvolvimento de plantas e, outros parâmetros, nomeadamente, o consumo de oxigénio e a produção de CO₂ ou o calor libertado como resultado da actividade microbiana são mais apropriados para a determinação da estabilidade. Por sua vez, Hue e Liu (1995) afirmam que a estabilidade e a maturação dos compostos estão usualmente – mas nem sempre – correlacionados, já que segundo estes autores a estabilidade está geralmente associada à actividade microbiana dos compostos e, conseqüentemente, ao potencial de produção de maus odores (compostos voláteis), enquanto que a maturação está associada à fitotoxicidade (adaptado de Queda, 1999).

Do exposto verificamos que estabilidade e maturação dos compostos são na realidade conceitos diferentes, estando efectivamente relacionados com as fases do processo. No entanto, ambos os conceitos estão relacionados com a qualidade dos compostos, que é o reflexo quer dos resíduos utilizados quer do processo de compostagem, bem como da forma como o mesmo decorreu.

Vários países da União Europeia têm aprovado normas para aplicação agrícola de compostos, com especial relevo para os valores dos teores de metais pesados (Russo, 2003). Note-se, que não existe na União Europeia uma norma específica para

a avaliação da qualidade de produtos provenientes do processo de compostagem. No caso específico de Portugal até ao momento, apenas existe uma Proposta de Norma que estabelece as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008).

2.5 Substratos orgânicos

Um substrato é formado por uma **fase sólida** que constitui uma espécie de malha no interior da qual se encontram os poros ou vazios, os quais estão preenchidos por fluidos; a **fase aquosa**, que contém elementos minerais em solução, e a **fase gasosa**, cuja composição depende das trocas com atmosfera, da actividade do sistema radicular e dos microrganismos existentes no substrato (Ribeiro, 1996).

Cada uma destas fases tem uma função própria (Lamaire *et al.*, 1989)

- i) a fase sólida garante o suporte do sistema radicular e a estabilidade do vegetal;
- ii) a fase líquida assegura o fornecimento de água e nutrientes à planta;
- iii) a fase gasosa assegura as transferências de oxigénio e dióxido de carbono intervenientes na respiração radicular e microbiana.

Desta forma, o substrato, para além de servir de suporte à planta é responsável pelo fornecimento às raízes de água, ar e nutrientes, verificando-se que um conveniente equilíbrio entre as três fases mencionadas constitui, seguramente, o principal factor responsável pelo sucesso da produção de plantas (Quelhas dos Santos, 1991). Se as proporções destes componentes não forem adequadas, o desenvolvimento vegetal poderá ser afectado devido a fenómenos de:

- i) *asfixia*, devido à falta de oxigénio, o que impede a respiração das raízes e microrganismos presentes no substrato;
- ii) *desidratação*, devido a falta de água;
- iii) *excesso*, carência ou desequilíbrio de nutrientes, o que limita o crescimento (Miner, 1994).

A proporção entre a fase sólida, líquida e gasosa num substrato, para além de depender de factores externos aos substratos (pluviosidade ou rega, forma e dimensões do vaso, fertilização, etc.) depende, sobretudo, das características dos

materiais que o constituem. Por este motivo, sempre que se pretende utilizar um novo material como substrato ou introduzir um novo componente na sua formulação, é importante avaliar as suas propriedades físicas (relacionadas com a retenção de água e arejamento), químicas (relacionadas com a nutrição vegetal) e biológicas (relacionadas com o desenvolvimento microbiano e estabilidade do material), de modo a verificar se será previsível a ocorrência de fenómenos limitantes ao desenvolvimento das plantas (Ribeiro, 1996).

Outro aspecto relacionado com a instabilidade dos compostos é a tendência para a compactação dos substratos preparados a partir destes (Raviv *et al.*, 1987), a qual consoante a sua intensidade pode ser benéfica, uma vez que o teor de água disponível aumenta (Brunt, 1988), ou prejudicial se ocorrer compactação intensa que origine uma acentuada redução do crescimento das plantas, devido à má drenagem e à consequente asfixia radicular, à redução da água disponível para as plantas, ao aumento da concentração dos sais, às restrições de penetração das raízes e à redução da taxa de mineralização de azoto orgânico (Ribeiro, 1996).

2.6 Fertilizantes (orgânicos e inorgânicos)

Na actividade agrícola, por vezes é necessário adicionar fertilizantes ou dispor de um bom substrato para atingir o objectivo de produzir maiores quantidades. Ou seja, tratando-se de uma actividade que visa a produção de alimento, consumindo as reservas existentes no solo, os nutrientes. Como estes são retirados pelas plantas, para o seu crescimento, é necessário repor essas reservas de nutrientes para o sistema se manter em equilíbrio. Esta adição de reservas faz-se por duas formas (Quelhas dos Santos, 1991):

- i) adição de material orgânico (substratos e compostos, entre outros)
- ii) e por fertilizantes inorgânicos (sintetizados quimicamente).

2.6.1 Fertilizantes orgânicos

Os fertilizantes orgânicos, como o próprio nome indica, são produtos de natureza orgânica, proveniente de resíduos animais e/ou vegetais e que, portanto contêm necessariamente, matéria-orgânica (Quelhas dos Santos, 1991).

O uso de fertilizantes orgânicos tem uma influência igualmente positiva na produtividade das culturas ainda que possuam, normalmente, mais baixos teores de macronutrientes e actuam mais lentamente, comparativamente com fertilizantes minerais, têm vantagem de veicular matéria orgânica para os solos e fornecer elementos nutritivos de forma mais gradual, o que minimiza, de certo modo, os efeitos prejudiciais nas águas e nos solos. Por último, os fertilizantes minero-orgânicos, têm origem mista, isto é, resultam da mistura de fertilizantes minerais com fertilizantes orgânicos (Rodrigues, 1996).

Os correctivos orgânicos, durante séculos foram os únicos fertilizantes usados, viriam a perder grande parte da sua importância quando apareceram os adubos minerais. Cada vez mais, sobretudo por razões ecológicas, voltaram a ser alvo de uma crescente atenção. No caso concreto de Portugal, pode dizer-se que ao interesse ecológico acresce também a realidade de que os solos, na sua grande maioria, são muito pobres em matéria orgânica, em consequências, sobretudo, do facto de as condições climáticas favorecerem, durante grande parte do ano a sua mineralização (Quelhas dos Santos, 1991).

Até há relativamente pouco tempo, os correctivos orgânicos eram quase sempre identificados com os estrumes. Hoje em dia, porém, vários outros produtos, embora de um modo geral com aplicações mais restritas, podem e devem ser utilizados como fertilizantes. É o que acontece, nomeadamente, com produtos resultantes da intensificação e concentração de indústrias agropecuárias, agrícolas e florestais, e do tratamento dos resíduos sólidos urbanos e das águas residuais dos aglomerados populacionais (adaptado de Quelhas dos Santos, 1991). O que vem realçar o facto de as borras de café poderem ser, também, utilizadas como fertilizantes orgânicos.

A matéria orgânica nas suas formas mais estabilizadas – substâncias húmicas – é fundamental para a manutenção da fertilidade física, química e biótica do solo. De acordo com a sua solubilidade em água, as substâncias húmicas podem ser divididas em três classes: os ácidos húmicos, solúveis apenas em meio alcalino, os ácidos fúlvicos, solúveis a qualquer valor de pH, a humina, insolúvel a qualquer pH (Stevenson, 1992, citado por Silva *et al.*, 2003).

A determinação do teor de ácidos húmicos e fúlvicos num composto são alguns dos parâmetros correntemente utilizados para avaliar o grau de maturação/estabilização de um resíduo orgânico a ser usado como substrato de envasamento ou como

correctivo orgânico do solo, e para a determinação da fracção da matéria orgânica estável do solo (Silva *et al.*, 2003).

O conhecimento do tipo e teor dos grupos funcionais nas substâncias húmicas revela-se importante pois vai permitir apreciar o potencial de carga e consequentemente a capacidade das substâncias húmicas relativamente a fenómenos de adsorção de nutrientes, troca catiónica, retenção de água, poder tampão e complexação de iões metálico tóxico (Silva *et al.*, 2003).

Rodrigues (1996) acrescenta ainda que, a aplicação de compostos torna-se ainda muito interesse, na medida em que estes fertilizantes possuem, regra geral, um elevado teor de matéria orgânica para além de macronutrientes e micronutrientes. Aumentam a actividade biológica do solo o que favorece a solubilização de nutrientes e minimizam a perda de nutrientes por lixiviação.

2.6.2 Fertilizantes inorgânicos (ou minerais)

Os fertilizantes minerais são produtos de origem mineral ou obtidos industrialmente, a partir de substâncias de origem natural. A eles é devida uma boa parte da responsabilidade dos aumentos extraordinários de produtividade que se têm verificado nas culturas (Rodrigues, 1996).

O crescimento vegetal depende assim da capacidade do solo para proporcionar um meio favorável ao desenvolvimento das raízes. O azoto, o fósforo e o potássio são os três elementos que mais frequentemente limitam o crescimento vegetal. O seu teor no solo tem de ser muitas vezes complementado recorrendo à aplicação de fertilizantes. Por esta razão, estes três elementos são designados por macronutrientes principais. O enxofre, o cálcio e o magnésio são abundantes na maior parte dos solos, e são necessários em teores mais baixos do que os macronutrientes principais. São designados por macronutrientes secundários, por não ser preciso avaliar sistematicamente a sua concentração no solo e aplicá-los através da fertilização. Outros nutrientes, como o sódio, são considerados elementos benéficos, ou seja, aqueles estimulam o crescimento de algumas plantas, não sendo essenciais, ou que são essenciais apenas para algumas espécies vegetais (Varennnes, 2003).

2.7 Borrás de Café

O processo de extracção de café em estabelecimentos de restauração gera uma quantidade substancial de borras, as quais são um resíduo orgânico sem valor comercial mas que pode ser valorizado evitando a sua deposição em aterro (Arruda, 2006).

Segundo o Instituto Nacional de Estatística, em 2007, foram vendidas cerca de 39036 toneladas de café torrado e 38299 toneladas de café não descafeinado, em que por cada quilograma de café torrado são produzidas cerca de 2 kg de borras de café (Arruda, 2006).

Este resíduo tem como destino final os aterros sanitários. Tendo em conta este facto e sabendo que Portugal, como todos os outros Estados Membros da União Europeia, necessita de reduzir as quantidades de resíduos biodegradáveis (resíduos alimentares, de jardins e por exemplo, as borras de café) depositados em aterros sanitários (Decreto-Lei nº183/2009 e Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos), porque não valorizar determinados resíduos que podem ser aproveitados em determinados sectores da nossa economia? Em 2016 o valor de resíduos depositados em aterros sanitários, por Portugal, deve ser inferior a 50% em peso, relativamente ao total de resíduos biodegradáveis produzidos em 1995, ou seja, 788 452 Mg.

2.7.1 Caracterização das borras de café

Gonçalves (2005) afirmou que as borras de café poderiam ser submetidas a tratamento térmico tendo em vista a sua esterilização e desidratação e apresenta as suas principais características: teores de azoto relativamente elevados e muito reduzidos nos casos do fósforo e potássio, um pH na gama do ácido e uma granulometria muito reduzida.

Esta ideia já teria sido constatada por um estudo promovido pela Starbucks em 1995 e realizado pela *University of Washington College of Forestry Resources* e citada em Arruda (2006) cujos valores são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Composição mineral das borras de café (fonte: Starbucks, 1995. Citado por Arruda, 2006).

Nutrientes Primários (g 100 g ⁻¹)	Nutrientes Secundários (g 100 g ⁻¹)
Azoto Total – 1,45	Cálcio – 0,0389
Fósforo – ND*	Magnésio – 0,0448
Potássio – 0,1204	
Razão C _{total} /N _{total} = 20/1	

*ND- indica que o teor da amostra é inferior ao limite de deteção

Arruda (2006) realizou um estudo com o objectivo de determinar as potencialidades das borras de café para valorização agrícola. Neste estudo, analisou várias amostras de café, com moagem grossa e fina, de forma a determinar as características físico-químicas e químicas dos cafés torrados das diferentes moagens. Os resultados apresentados nos Quadros 2, 3, 4, 5, 6 e 7 resultam na adaptação dos dados obtidos por Arruda (2006), em que apenas se apresentam os valores máximos e mínimos para cada parâmetro.

Quadro 2 – Características físico-químicas de cafés com moagem fina (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetro	Humidade (g 100 g ⁻¹)	Matéria Orgânica (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Azoto Total (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Razão C/N	pH	CE ¹ (mS cm ⁻¹)
Valor mínimo	1,36	95,13	2,27	16,96	5,18	6,86
Valor máximo	2,42	95,65	2,80	20,97	5,64	7,54

*m.s. – valores reportados à matéria seca

¹CE- Condutividade Eléctrica

Através da observação do Quadro 2 relativo à moagem fina verifica-se que o teor de humidade varia entre 1,36 e 2,42 g 100 g⁻¹. Já para o caso da matéria orgânica não existe grande variação, ou seja, ambos os valores são muito próximos, variando entre 95,13 a 95,65 g 100 g⁻¹. Como referido, o pH é ligeiramente ácido, variando entre 5,18 e 5,64.

A condutividade eléctrica (CE) varia entre 6,86 mS cm⁻¹ e 7,54 mS cm⁻¹, não apresentando também uma variação muito grande.

O teor em Azoto total é elevado (em g 100 g⁻¹ de matéria seca), entre 2,27 e 2,80.

Em relação à razão C/N verificaram-se valores entre 16,96 e 20,97, o que é bastante satisfatório.

A composição mineral de vários cafés com moagem fina também foi determinada por Arruda (2006) e no Quadro 3 são apresentados os valores mínimos e máximos determinados pelo mesmo autor.

Quadro 3 – Valores mínimos e máximos para a composição mineral de cafés com moagem fina (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetros	Ca	Mg	K	P	Na	Mn	Cu	Zn
	(g 100 g ⁻¹ m.s.*)					(mg kg ⁻¹ m.s.*)		
Valor mínimo	0,107	0,158	1,732	0,002	0,004	15,929	11,214	5,559
Valor máximo	0,153	0,202	2,313	0,003	0,030	34,984	17,566	6,518

*m.s. – valores reportados à matéria seca

Através da sua observação, do Quadro 3, é possível verificar que muitos são os constituintes minerais das borras de café. O nutriente em maior quantidade é o Potássio (K) e em menor quantidade o Zinco (Zn).

Arruda (2006) realizou a mesma caracterização físico-química e químicas das borras de café resultantes das diferentes moagens. Assim, no Quadro 4 são descritas as características físico-químicas e químicas das borras de café com moagem fina.

Quadro 4 – Características físico-químicas das borras de café com moagem fina (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetro	Humidade (g 100 g ⁻¹)	Matéria Orgânica (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Azoto Total (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Razão C/N	pH	CE ¹ (mS cm ⁻¹)
Valor mínimo	62,33	97,27	2,05	19,30	5,55	0,58
Valor máximo	65,23	98,48	2,55	23,99	5,85	0,90

*m.s. – valores reportados à matéria seca

¹CE- Condutividade Eléctrica

Da análise dos Quadros 2 e 4 é possível observar variações aquando da transformação do café em borras de café. É de estacar o aumento da humidade e da razão C/N nas borras de café e a diminuição da condutividade eléctrica, comparativamente aos cafés com moagem fina.

Arruda (2006) também apresenta a caracterização físico-química de vários cafés com moagem grossa cujos valores mínimos e máximos são resumidos no Quadro 5

Quadro 5 – Características físico-químicas de cafés com moagem grossa (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetro	Humidade (g 100 g ⁻¹)	Matéria Orgânica (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Azoto Total (g 100 g ⁻¹ m.s.*)	Razão C/N	pH	CE ¹ (mS cm ⁻¹)
Valor mínimo	2,08	95,51	2,66	14,82	5,39	6,90
Valor máximo	2,29	94,29	3,18	17,97	5,60	7,11

*m.s. – valores reportados à matéria seca

¹CE- Condutividade Eléctrica

Comparativamente com a moagem fina, os cafés com moagem grossa apresentam menor variação para o teor de humidade.

Não se verifica grande variação para o pH e para a condutividade eléctrica, comparativamente à moagem fina.

Os valores de azoto total para os cafés com moagem grossa variam entre 2,66 e 3,18 g 100 g⁻¹, os quais são superiores aos encontrados para os cafés com moagem

fina. Por fim, a razão C/N é inferior à para a moagem fina, contudo, a variação não é significativa.

A partir dos valores mínimos e máximos para a composição mineral dos cafés com moagem grossa (Quadro 6) verificamos que também é o K que se encontra em maior quantidade e o Zn em menor quantidade, tal como no caso dos cafés com moagem fina.

Quadro 6 – Valores mínimos e máximos para a composição mineral de cafés com moagem grossa (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetros	Ca	Mg	K	P	Na	Mn	Cu	Zn
	(g 100 g ⁻¹ m.s.*)					(mg kg ⁻¹ m.s.*)		
Valor mínimo	0,098	0,168	1,883	0,002	0,008	21,409	15,237	6,480
Valor máximo	0,124	0,198	2,237	0,003	0,013	25,323	15,574	7,517

*m.s. – valores reportados à matéria seca

Quadro 7 – Características físico-químicas das borras de café com moagem grossa (adaptado de Arruda, 2006).

Parâmetro	Humidade	Matéria Orgânica	Azoto Total	Razão C/N	pH	CE ¹
	(g 100 g ⁻¹)	(g 100 g ⁻¹ m.s.*)				(mS cm ⁻¹)
Valor mínimo	62,37	97,00	2,74	16,14	5,46	1,88
Valor máximo	64,79	98,29	3,04	17,68	5,71	2,25

*m.s. – valores reportados à matéria seca

¹CE- Condutividade Eléctrica

Da análise dos Quadros 5 e 7 é possível observar que, tal como acontecia nos cafés e borras de moagem fina, se verifica um aumento acentuado da humidade e um ligeiro aumento da matéria orgânica e da razão C/N nas borras de café de moagem grossa. Observa-se também uma diminuição da condutividade eléctrica. Contudo, esta diminuição não é tão acentuada como no caso das borras de café de moagem fina.

2.8 Utilização de Compostos na Formulação de Substratos Orgânicos

Entre os vários materiais disponíveis, a turfa tem sido o material orgânico mais utilizado na formulação de substratos para viveiros florestais (Peñulas-Rubira & Ocaña-Bueno, 2000). Contudo, a turfa é um recurso limitado, não renovável e caro e, por isso, a utilização de materiais alternativos, como compostos ou outros materiais orgânicos tem sido apontada como uma alternativa viável na formulação de substratos para a produção de plantas florestais (Bonnet *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2009).

A riqueza em matéria orgânica, os teores relevantes de macro e micronutrientes e a presença de uma diversificada flora microbiana conferem aos compostados de RSU propriedades que lhe permitem uma vasta gama de aplicações que será tanto maior quando maior for a qualidade. De um modo geral, para além da aplicação ao solo como correctivo orgânico, outras utilizações são a composição de suporte para culturas ornamentais, substratos para a produção de cogumelos, produção de adubos organominerais e, biorrecuperação de solos contaminados com poluentes orgânicos (Canas, 2000).

A necessidade de obter plantas homogêneas e saudáveis obriga a utilizar produtos homogêneos, reprodutíveis, com boas características culturais e de fácil utilização. Na formulação de substratos, recorre-se a uma enorme variedade de materiais orgânicos e inorgânicos, de modo a obter um produto final com características exigidas. No entanto, é recomendável a utilização de materiais orgânicos estáveis do ponto de vista biológico, isto é, que sejam “resistentes” à decomposição microbiana (Romero, 2004). Zucconi *et al.* (1981b), acrescenta que quando os compostos são utilizados na formulação de substratos para plantas envasadas devem ser estáveis, maturados e de elevada qualidade por forma a não provocarem efeitos negativos no desenvolvimento das plantas. Neste caso, o estudo da fitotoxicidade é muito importante, já que a presença de ácidos orgânicos de cadeia curta (como por exemplo: ácido acético, propiónico, etc.), mesmo em concentrações baixas, tem efeitos fitotóxicos para as plantas (Zucconi *et al.*, 1981b).

Lamaire (1993), sugere que na formulação de substratos se utilizem dois tipos de materiais:

- i) Materiais orgânicos que, naturalmente, sejam resistentes à degradação microbiana (têm uma elevada estabilidade biológica). Dentro deste grupo encontram-se as turfas louras e casacas de coníferas que, apesar de terem

uma razão carbono azoto elevada, apresentam uma taxa de decomposição muito baixa, mesmo na presença de N. Este fenómeno deve-se ao facto de o carbono se encontrar predominantemente na forma de compostos orgânicos bastante resistentes, por exemplo, a lenhina;

- ii) Restantes materiais orgânicos e sendo pouco estáveis têm que, antes de serem utilizados na formulação de substratos, ser sujeitos a um processo de estabilização. Neste grupo encontram-se materiais tão variados como as palhas, resíduos sólidos urbanos, casaca e serradura de folhosas, estrumes, subprodutos de várias agro-indústrias, etc. Estes materiais são, normalmente, sujeitos a um tratamento por compostagem, durante o qual os seus constituintes orgânicos são decompostos e transformados em matéria orgânica estável.

Chen *et al.* (1986) refere que as características físicas, químicas e biológicas, bem como os índices de maturação dos substratos devem ser standardizados. As características físicas mais importantes são uma elevada porosidade e uma distribuição dos poros que facilite uma óptima razão ar/água, uma elevada fracção de matéria orgânica estável, e sobretudo ter um volume constante. Acrescentam ainda, que as características biológicas mais importantes são a ausência de sementes e a supressividade dos microrganismos patogénicos do solo que afectem o crescimento das plantas. No que respeita às características químicas dos substratos, estes devem ter um pH que mantenha uma alta disponibilidade dos nutrientes para as plantas, um elevado poder tampão, baixa condutividade eléctrica, baixa razão C/N (composto estável), baixa concentração de metais pesados, quantidades suficientes de macro e micronutrientes (as quantidades destes elementos minerais podem não ser muito elevadas, desde que se possa suprir a necessidade das plantas ao adicioná-los na rega).

Contudo, existem autores que apontam desvantagens à formulação de substratos orgânicos a partir de compostos. A salinidade (Castillo, *et al.*, 2004; Garcia-Gomez *et al.*, 2002), os valores elevados de pH que reduzem a disponibilidade de micronutrientes (Perez-Murcia, *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2007), assim como a presença de substâncias com efeito fitotóxico (Ribeiro *et al.*, 2000; Perez-Murcia, *et al.*, 2006) são algumas das razões indicadas pelos vários autores.

Assim, é necessário realizar uma avaliação dos compostos antes da sua utilização na formulação de substratos orgânicos.

A salinidade define-se como uma excessiva concentração de sais solúveis na solução, capaz de afectar o desenvolvimento da maioria das culturas (Ribeiro, 1996).

Ribeiro (1996), acrescenta que uma elevada concentração de sais na solução do substrato pode ter diferentes origens:

- i) Composição base do substrato. Utilização de substratos naturalmente ricos e, sais solúveis (RSU, lamas compostadas e turfas salinas extraídas de locais próximos do mar), ou utilização, na formulação do substrato, de materiais não estabilizados que se decomponham rapidamente e libertem grandes quantidade de elementos;
- ii) Água de rega. A utilização de água de rega com elevados teores de sais, nomeadamente com sódio, cloretos, boro e nitratos;
- iii) Fertilização. Aplicação de quantidades de nutrientes superiores às absorvidas pelas plantas ou a utilização de adubos com elevados teores de elementos que são absorvidos em reduzidas quantidades e que, por isso, se acumulam no substrato (por exemplo, adubos com elevados teores de cloretos).

Brunt *et al.* (1988) e Lemaire *et al.* (1989), referem que em culturas envasadas é frequente a ocorrência de fenómenos de compactação do substrato. Acrescentam ainda que esta compactação pode ter diferentes origens:

- i) Impacto da água de rega sobre o substrato;
- ii) “compactação” do substrato, provocada pelos operadores, quando se procede ao enchimento dos vasos;
- iii) Diminuição de volume que ocorre em situações de secagem do substrato. Este fenómeno é bastante frequente em certos materiais orgânicos que, à medida que perdem água, vão diminuindo o seu volume. Perdas de 20% do volume inicial são frequentes em algumas turfas, verificando-se que, em algumas situações, estas reduções de volume são irreversíveis;
- iv) Decomposição de materiais orgânicos pouco estabilizados existentes no substrato, a qual provoca uma perda de rigidez e de fibrosidade;
- v) Segregação de partículas de menores dimensões que se acumulam no fundo do vaso, provocando o aparecimento de uma zona pouco permeável e mal arejada.

3. Material e Métodos

3.1 Materiais

Como o principal objectivo deste trabalho é a avaliação dos compostos produzidos com borras de café para a produção de plantas aromáticas foram seleccionadas três espécies de plantas aromáticas: o basílico (*Ocimum basilicum* L.), os coentros – (*Coriandrum sativum* L.) e a salsa (*Petroselinum crispum* L.) e foi utilizado o agrião – (*Lepidium sativum* L.) como espécie de referência.

Basílico – *Ocimum basilicum* L.

O Basílico pertence à família das *Lamiaceae*. É uma planta herbácea, perene e de curta duração. É muito variável na sua morfologia. Os caules e os ramos ramificados e de hastes verdes. As sementes são pequenas, pretas e oblongas (Graeme Toby, Alison Denham, Margaret Whitelegg, 2010).

Coentros - *Coriandrum sativum* L.

A *Coriandrum sativum* L. pertence à família das *Umbelliferae*. Planta herbácea, anual, com cerca 60 cm de altura e de ciclo curto. O sistema radicular é apurado e muito ramificado (Diederichsen, 1996).

Salsa - *Petroselinum crispum* L.

A *Petroselinum crispu* L., vulgarmente conhecida por salsa, tem origem na zona mediterrânica junto à Europa e Ásia. É uma planta da família das *Umbelliferae*, trata-se de planta herbácea vivaz, com raiz principal, ligeiramente, carnuda, que pode atingir 12-17 cm de comprimento. A reprodução é feita por sementes, num local ensolarado e em solo que não seja demasiado compacto. O ciclo é bienal, mas é cultivada como anual. Em termos de condições ambientais, destaca-se a preferência por solos profundos, de textura franca, riscos em húmus, arejados e com boa retenção de água. O pH óptimo é de 6,0-7,0 (Rau, 2008)

Agrião – *Lepidium sativum* L.

O agrião pertence à família das *Cruciferae*. É uma planta herbácea, perene e anual de raiz profunda, folhas em roseta alternadas, fendida e lobuladas, caule ramificado e

flores brancas que, ao frutificar em silíquas arredondadas produz sementes de cor parda e de forma mais ou menos oblongas (Borrego, 2002).

O composto utilizado neste trabalho foi obtido através da compostagem de cerca de 62 kg de borras de cafés, recolhidas nos estabelecimentos adjacentes e nos bares do Instituto Superior de Agronomia, com uma mistura de restos de relva e palhas provenientes da Tapada da Ajuda, em igual quantidade. Antes da montagem da pilha recolheu-se amostras dos materiais utilizados para posterior análise em laboratório. Após a construção da pilha de compostagem procedeu-se à caracterização dos materiais utilizados e da mistura inicial (palha+relva+borras de café). Após 12 dias realizou-se uma nova caracterização da mesma mistura. O ensaio de compostagem que deu origem ao composto foi realizado com o objectivo de participar na III Edição do Concurso Ideias e Criatividade Empreendedora promovido pela OTIC (Oficina de Transferência de Tecnologia e de Conhecimento) da Universidade Técnica de Lisboa. O principal objectivo deste concurso é a promoção da criatividade e empreendedorismo de forma a desenvolverem-se projectos viáveis de valor acrescentado que deem origem à criação de empresas.

O processo de compostagem foi realizado em pilha. Durante todo o processo procedeu-se, periodicamente, ao controlo e monitorização da temperatura e humidade. O processo de compostagem decorreu durante três meses (Junho, Julho e Agosto de 2010).

Após estabilização/maturação do composto procedeu-se à sua crivagem, utilizando um crivo com malha de 5 mm. Pois, a crivagem garante uma maior homogeneidade do composto em termos de granulometria. Assim, neste trabalho foi caracterizado o composto antes de ser crivado e após a sua crivagem. Nos ensaios de crescimento com as espécies aromáticas ensaiadas e com o agrião apenas foi utilizado o composto crivado.

3.2 Métodos

3.2.1 Parâmetros Físicos e Físico-químicos

- **Temperatura**

A temperatura foi registada na pilha ao longo do processo de compostagem com o auxílio de termómetros digitais. As alturas a que se deram estes registos foram (da base para o topo): 10cm, 30cm e 50cm. Os resultados são expressos em °C.

- **Massa Volúmica**

A massa volúmica aparente do composto foi determinada com base na Norma EN 13040 (1999). Para tal utilizou-se uma proveta de 1 L e procedeu-se ao seu enchimento, de modo a que a amostra ficasse compacta, e anotou-se o peso, expresso em g L^{-1} .

- **Teor de Humidade**

O teor de humidade do composto foi determinado de acordo com a Norma EN 13040 (1999) por gravimetria após secagem em estufa a 104°C , de cerca de 5 g de amostra até atingir peso constante. Também foi determinado o teor de humidade em amostras com cerca de 1 g previamente secas em estufa a 75°C e depois moídas e crivadas a 2 mm e a $500\ \mu\text{m}$. Os resultados foram expressos em $\text{g } 100\ \text{g}^{-1}$.

- **pH e Condutividade Eléctrica**

O pH do composto foi determinado de acordo com a Norma EN 13040 (1999). Preparou-se um extracto aquoso com uma quantidade de amostra equivalente a 60 mL de amostra e 300 mL de água desionizada e colocou-se a agitar durante uma hora. Após a agitação procedeu-se à leitura do pH no potenciómetro.

De seguida decantou-se o extracto e procedeu-se à leitura da Condutividade Eléctrica. Os valores foram expressos em mS cm^{-1} .

3.2.2 Parâmetros Químicos

- **Matéria Orgânica e Carbono Orgânico Total**

A matéria orgânica do composto foi determinada tendo em conta a Norma EN 13039 (1999), por gravimetria após incineração a 450°C , em mufla, durante pelo menos 8 horas, de cerca de 8-10 g de amostra. Os resultados foram expressos em percentagem ($\text{g } 100\ \text{g}^{-1}$ de matéria seca da amostra seca).

O carbono orgânico total do composto foi determinado através do método de Tinsley. Colocou-se cerca de 0,015 g do composto em análise, previamente seco a 75°C e

crivado a 2 mm, num balão Erlenmeyer e juntou-se 25 mL de solução extractiva (19,87 g de dicromato de sódio+200 mL de ácido ortofosfórico+400 mL de ácido sulfúrico por litro). Por fim, colocou-se um tubo de refluxo e levou-se à placa de aquecimento durante 2 horas. Após arrefecimento, adicionou-se 200 mL de água destilada e 4 mL de solução indicadora (0,3 g de difenilamina-sulfonato de bário + 58,7 g de cloreto de bário por litro) e procedeu-se à titulação com sal de Mohr 0,4 N. Os resultados foram expressos em percentagem ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca da amostra seca a 75°C e crivada a 2 mm).

- **Azoto Amoniacal (N-NH_4^+)**

O azoto amoniacal do composto foi determinado por destilação em meio alcalino (NaOH), após extracção de 50 g de amostra com 200 mL de KCL 2N com agitação durante uma hora e centrifugação a 3500 r.p.m, durante 30 minutos. Os resultados foram expressos em $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ de matéria seca de amostra.

- **Azoto Nítrico (N-NO_3^-)**

Após a destilação do azoto amoniacal adicionou-se 5 mL de sulfato de prata (0,5%) e 25 mL de sulfato ferroso ($150 \text{ g de sulfato ferroso L}^{-1} + 2 \text{ mL de ácido sulfúrico concentrado}$) e voltou-se a destilar o conteúdo do tubo. Os resultados foram expressos em $\text{mg de N-NO}_3 \text{ kg}^{-1}$ de matéria seca.

- **Azoto Total**

A determinação do azoto total foi realizada na fracção com 2 mm obtida após secagem da amostra a 75°C e posterior moenda. Foi seguida a metodologia da norma EN 13654-1, na qual é utilizada uma solução de ácido sulfúrico e ácido salicílico. Os resultados foram expressos em $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de amostra seca a 75°C e crivada a 2 mm).

- **Relação C/N**

A relação C/N foi calculada através da seguinte expressão:

$$Relação\ C/N = \frac{\% \text{ Carbono Orgânico Total}}{\% \text{ Azoto Total}}$$

- **Elementos Minerais**

Os extractos para a determinação dos elementos minerais foram preparados com água-régia de acordo com a EN 13650.

O doseamento do Ca, Mg, K, Na, Cu, Mn, e Zn foi efectuado por espectrofotometria, tendo-se utilizado um espectrofotómetro Unicam SP9. O doseamento do P foi realizado por espectrofotometria de absorção molecular. Usou-se o vanadomolibdato de amónio como reagente para o desenvolvimento da cor e a absorvância foi lida a 375 nm num espectrofótopmetro de duplo feixe *Hitachi U-2000*.

Os resultados para o Ca, Mg, K, Na e P foram expressos em g 100 g⁻¹ de amostra seca a 75 °C e crivada a 500 µm). no caso do Cu, Mn e Zn os resultados foram expressos em mg kg⁻¹ de amostra seca a 75 °C e crivada a 500 µm).

3.2.3 Avaliação da Estabilidade/Maturação

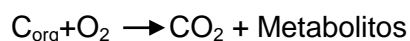
- **Teste do auto-aquecimento**

Após a correcção do teor de humidade a 35% de 800 g a 1000 g de amostra esta foi colocada num recipiente adiabático (*Dewar flask*) e mantida à temperatura ambiente, durante 10 dias. A temperatura máxima alcançada (°C) durante o período do teste foi registada através de um termómetro digital colocado no *Dewar*.

- **Actividade Respiratória ao fim de 4 dias (AT4)**

A actividade respiratória (AT4) descreve a carência bioquímica de oxigénio de uma amostra sólida durante um período de observação de 4 dias. O método é baseado na medição da diferença de pressão no sistema fechado.

Durante a degradação biológica das substâncias orgânicas (C_{org}) pelos microrganismos ocorre consumo de oxigénio e libertação de dióxido de carbono de acordo com a seguinte equação:



O dióxido de carbono libertado é absorvido por um absorvente colocado no frasco onde é realizado o ensaio. Consequentemente ocorre um decréscimo proporcional da pressão da fase gasosa no frasco, onde ocorre a reacção resultante do consumo de oxigénio. Neste sistema fechado a medição da pressão é feita independentemente da pressão atmosférica. O sistema de medição utilizado consiste num sensor electrónico de pressão, num frasco de *Schott* de 2000 mL e num dispositivo para colocar o absorvente do dióxido de carbono no interior do frasco.

O teste AT4 foi realizado com 40 g, de amostra com humidade corrigida a 45%. Utilizou-se 2,5 mL de solução de hidróxido de potássio (KOH) a 45% como absorvente do dióxido de carbono. O sistema foi incubado numa estufa termostaticada à temperatura de 20° C durante 4 dias. Os resultados foram registados on-line no sensor electrónico de pressão por leitura de infra-vermelho. A actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) nas condições do ensaio é expressa em mg O₂ g⁻¹ de matéria seca da amostra e é calculada a partir da seguinte equação:

$$AT4 = K_{20^{\circ}C} \times \frac{V_{GL}}{m_{MS}} \times \Delta p$$

$K_{20^{\circ}C} = 1,313 \text{ (mg h Pa}^{-1} \text{ L}^{-1}\text{)}$

V_{GL} = volume de gás livre (L)

Δp = variação de pressão (h Pa)

m_{MS} = massa de matéria seca da amostra usada (g)

3.2.4 Ensaio de Crescimento com as Espécies Vegetais

A realização dos ensaios de crescimento foi efectuada com uma mistura do composto que se pretendeu analisar com um solo artificial, nas proporções de 1/3 (em volume) de composto e 2/3 (em volume) de solo artificial. O solo artificial foi preparado com turfa, perlite e areia, todos nas proporções de 1/3 (em volume) (CAN/BQN, 1996 modificado em 1997). Utilizaram-se caixas de plástico com capacidade aproximada de 1 L e com perfurações na base, tendo sido preparadas 3 caixas com mistura do composto a analisar e solo artificial, simultaneamente, foram preparadas 3 caixas com solo artificial, que constituem as testemunhas. Em cada caixa foram semeadas 16

sementes das espécies a ensaiar: basílico, coentros, salsa e agrião. Todas as caixas foram mantidas, durante o ensaio, a 80% da respectiva capacidade de retenção de água, a qual foi previamente avaliada.

As caixas foram colocadas numa câmara de vegetação, simulando a luz do dia através de luzes de halogéneo de 52 W de potência, com 13 horas de luz/dia e mantendo a temperatura do ar entre os 20 °C e os 25 °C. Os ensaios decorreram durante 14 dias após a germinação de 50% das sementes nas caixas testemunha.

Após os 14 dias recolheu-se a parte aérea das plantas e avaliou-se o peso fresco do material vegetal em cada caixa. Seguidamente, procedeu-se à sua lavagem com água destilada e à sua secagem em estufa a 50 °C. Após a secagem, avaliou-se o peso do material seco.

Com os resultados obtidos foi ainda determinado o índice de crescimento, expresso em %, através da seguinte fórmula:

$$\%IC = \frac{PS(a)}{PS(t)} \times 100$$

IC = Índice de Crescimento

PS= peso seco (g)

(a) ensaio com amostra (solo artificial + composto)

(t) ensaio com a testemunha (solo artificial)

3.3 Análise Estatística dos Resultados

O tratamento dos resultados relativos à caracterização físico-química e química foi realizado em Excel, versão 2007, através do teste *t-student* ($\alpha=0,05$) para análise das médias.

No caso dos resultados relativos ao índice de crescimento, procedeu-se ao tratamento estatístico utilizando o programa R, versão 2.7.2 de 2008. Esta análise realizou-se tendo por base o modelo factorial utilizando $\alpha=0,05$. O teste de *Tukey* foi utilizado para a separação de médias e o teste de Bartlett para a análise de variância, ambos para o mesmo nível de significância $\alpha=0,05$.

4. Resultados e Discussão

4.1 Produção e Caracterização do Composto

Durante os primeiros treze dias do processo de compostagem procedeu-se ao registo, antes e depois do revolvimento, das temperaturas na base, meio e topo da pilha e em seguida calculou-se a temperatura média da pilha. Na Figura 5 podemos observar a evolução da temperatura durante as duas primeiras semanas do processo e nos vários locais da pilha.

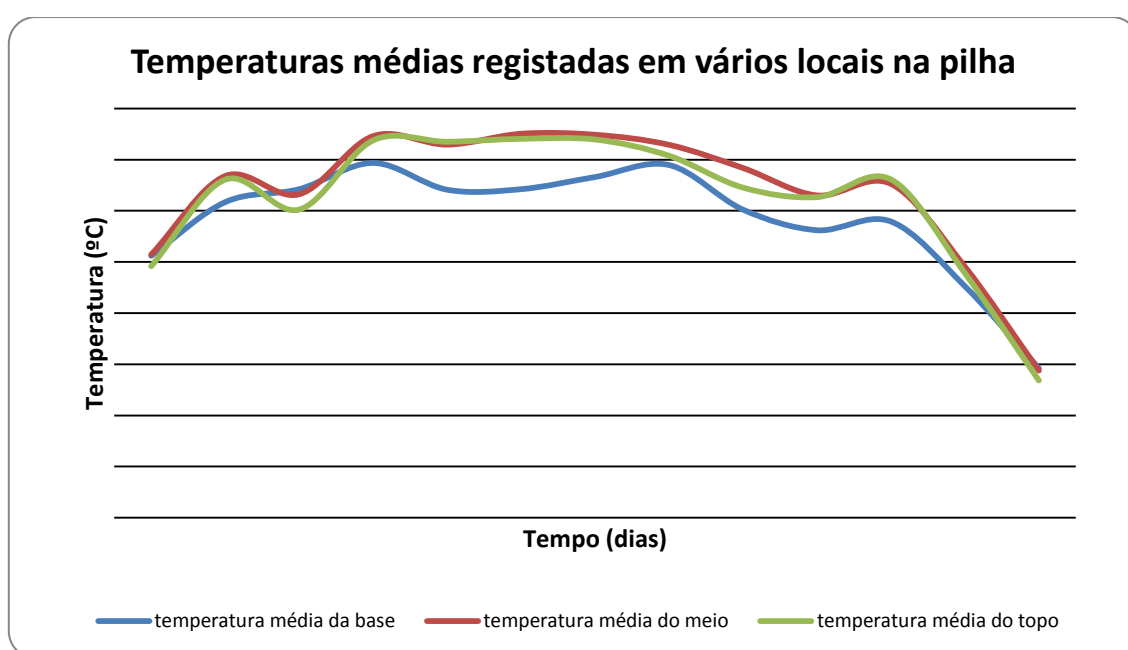


Figura 5 – Temperaturas médias registadas em vários locais (topo, meio e base) na pilha de compostagem.

Na Figura 6 é apresentada a temperatura média da pilha.

A evolução da temperatura permite verificar que durante o processo de compostagem ocorreu a fase termófila durante 12 dias (temperatura > 40 °C) (Figuras 5 e 6). Durante esta fase foram registadas, na pilha, temperaturas muito elevadas, na ordem dos 70 °C, apesar do revolvimento diário.

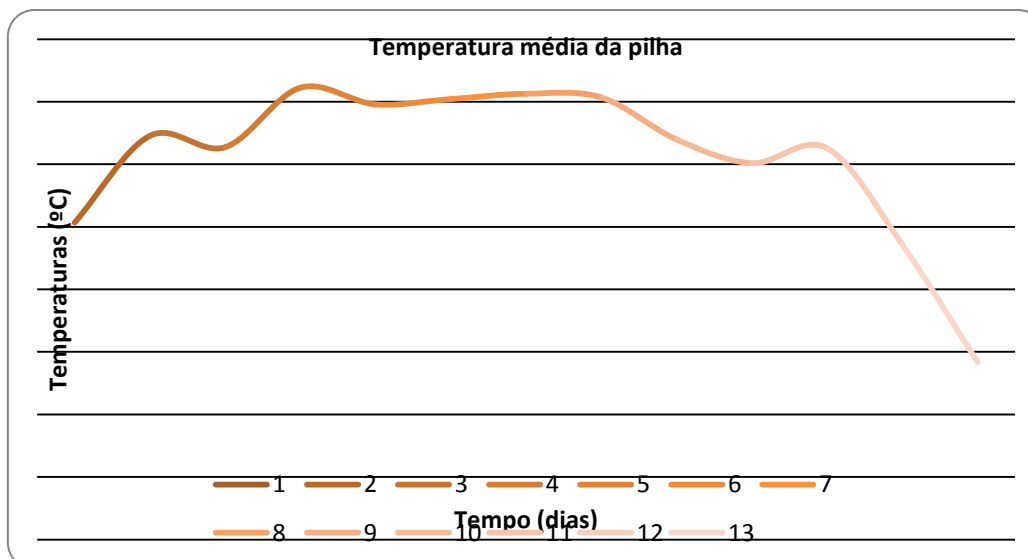


Figura 6 – Temperatura média registrada na pilha de compostagem.

Através da observação do Quadro 8 é possível verificar que ocorreu uma ligeira diminuição do teor de matéria seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) na mistura (ao fim de 12 dias), o mesmo se verificou para a matéria orgânica ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), e um decréscimo muito acentuado no caso do azoto amoniacal (mg kg^{-1}). Por sua vez, o teor de azoto total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) aumentou na mistura ao fim de 12 dias, provavelmente devido à volatilização do azoto amoniacal consequente favorecida pelo aumento da temperatura no material em compostagem (Figura 5).

Quadro 8 - Materias utilizados processo de compostagem.

Parâmetros	Palha+Relva	Borras de Café	Mistura Inicial	Mistura (ao fim de 12 dias)
Matéria seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	59,44	37,91	41,59	39,44
Humidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	40,57	62,09	58,42	60,56
Matéria Orgânica ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	87,39	97,72	92,38	83,31
Azoto Total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,89	2,14	2,12	3,20
N-NH ₄ ⁺ (mg kg^{-1} de m.s.**)	1334,42	171,09	1283,18	232,65

**m.s. – valores reportados à matéria seca da amostra original

No Quadro 9 são apresentadas as características físicas e físico-químicas avaliadas no composto Crivado e Não-Crivado obtido ao fim de três meses. Da observação dos valores obtidos é possível verificar que o parâmetro que parece apresentar maior

diferença antes e depois da crivagem é a massa volúmica. Contudo, as médias são consideradas iguais, ou seja, não diferem significativamente para $\alpha=0,05$.

Quadro 9 – Caracterização Física e Físico-Química dos compostos Crivado e Não-Crivado.

Parâmetros	Composto Crivado	Composto Não-Crivado
Matéria Seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	57,47a**	61,27b
Humidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	42,53a	38,73b
Matéria Orgânica ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ na m.s.*)	75,06c	75,41c
Massa Volúmica (g L^{-1} na matéria original)	400,11d	285,02d
pH	6,96e	6,95e
Condutividade Eléctrica (mS cm^{-1})	2,20f	1,96f

* m.s. – matéria seca

** as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

Para todos os parâmetros Físicos e Físico-Químicos, pelo teste *t-student*, as médias não diferem significativamente, ou seja, são consideradas iguais entre Composto Crivado e Composto Não-Crivado para $\alpha = 0,05$.

A matéria orgânica para o composto Crivado é de $75,06 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e para o composto Não-Crivado é de $75,41 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, estes valores encontram-se de acordo com vários autores (Santos, 2007 para compostos resultantes de resíduos orgânicos biodegradáveis; Lopes, 2005 para compostos resultantes de resíduos putrescíveis) e como tal, ambos os compostos podem ser utilizados na agricultura, como é citado nas Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008).

O mesmo se verifica para o pH, conforme citado no mesmo documento (Anónimo, 2008). Em ambos os compostos o pH é de, aproximadamente, 6,9. Segundo Baltazar (2005) o valor frequente de pH para compostos é da ordem de 8, o qual reflecte a presença de substâncias alcalinas, de cálcio e sódio. No entanto, é possível encontrar referências a outros valores de pH, 7,08 para compostos resultantes de resíduos verdes (Teodoro, 2006); 7,12 (Santos, 2007). O valor de pH obtido é facilmente justificável através das matérias-primas utilizadas, como refere Stoffella e Kahn, (2004) citado por Santos (2007). Segundo Arruda (2006) as borras de café têm um pH ácido, na ordem dos 5,55 – 5,85, o que poderá explicar os valores de pH obtido.

Em relação à humidade as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008) referem que o composto destinado à utilização na agricultura deverá apresentar um teor de humidade inferior a $40 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, o que só se verifica para o composto Não-Crivado. Contudo, importa referir que o composto Crivado apresenta um valor ligeiramente superior ($42,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) mas que não difere significativamente do valor observado para o composto Não Crivado. Os valores obtidos para a humidade (entre $38,73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $42,53 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) estão de acordo com os valores obtidos por Lopes (2005), que encontrou um valor de humidade de $35,29 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ em compostos resultantes de resíduos putrescíveis.

A condutividade eléctrica é de $2,20 \text{ mS cm}^{-1}$ para o composto Crivado e de $1,96 \text{ mS cm}^{-1}$ para o composto Não-Crivado.

Por fim, é de salientar o valor da massa volúmica que é de $400,11 \text{ g L}^{-1}$ para o composto Crivado e de $285,02 \text{ g L}^{-1}$ para o composto Não-Crivado.

No Quadro 10 são apresentados os resultados dos parâmetros químicos do composto Crivado e Não-Crivado.

Quadro 10 – Caracterização Química dos Compostos Crivado e Não-Crivado.

Parâmetros	Composto Crivado	Composto Não-Crivado
N-Total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ *)	4,25a***	4,06a
N-NH ₄ ⁺ (mg kg^{-1} m.s.**)	174,88b	297,68b
N-NO ₃ ⁻ (mg kg^{-1} m.s.**)	1143,30c	915,22c
Teor Carbono Orgânico Total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	35,51d	31,51d
Relação C/N	8,35e	7,76e
Humidade residual da amostra seca a 75 °C e crivada a 2mm ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	5,03f	5,43f

*na amostra seca a 75 °C e crivada a 2 mm

**m.s. – valores reportados à matéria seca da amostra original

*** as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

No que se refere aos parâmetros químicos (Quadro 10), verificamos que o composto Crivado apresenta um valor superior de azoto total (N-Total) e de azoto nítrico (N-NO₃⁻), em relação ao composto Não-Crivado. O mesmo não se verifica em relação ao azoto

amoniaco (N-NH_4^+), ou seja, no composto Não-Crivado, o valor é maior. Contudo, em relação a estes três parâmetros as médias não diferem significativamente ($\alpha = 0,05$) ou seja, são consideradas iguais, comparando o Composto Crivado e o Composto Não-Crivado.

No que diz respeito ao teor de carbono orgânico total (COT) o composto Crivado apresenta um valor de $38,02 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, enquanto no composto Não-Crivado é de $29,21 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Também para o COT as médias são consideradas iguais, no que refere ao Composto Crivado e ao Composto Não-Crivado, tendo em conta o nível de significância ($\alpha=0,05$).

Por sua vez, a relação C/N também é superior no composto Crivado (8,95) quando comparado com o composto Não-Crivado (7,19), mas não apresenta diferença significativa para $\alpha = 0,05$.

No Quadro 11 é possível visualizar os Elementos Minerais analisados no composto Crivado e Não-Crivado.

Quadro 11 – Elementos Minerais.

Elementos minerais	Composto Crivado	Composto Não-Crivado
	mg 1000g^{-1} *	
Cu	35,59 ^{a**}	34,66 ^{ab}
Mn	100,98 ^b	98,09 ^b
Zn	92,22 ^c	87,32 ^d
	g 100g^{-1} *	
Ca	2,22 ^d	2,48 ^e
Mg	0,56 ^e	0,54 ^e
K	2,12 ^e	2,07 ^f
Na	0,30 ^g	0,31 ^g
P	2,06 ^h	1,88 ^h
Humidade residual da amostra seca a 75 °C e crivada a 500 μm ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	6,17 ⁱ	7,04 ⁱ

*na amostra seca a 75 °C e crivada a 500 μm

** as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

No que diz respeito aos elementos minerais (Quadro 11) podemos concluir que os valores de zinco e cobre são inferiores aos estabelecidos Regulamento (CEE) nº2092/91 do Conselho de 24 de Junho de 1991, que disciplina o modo de produção biológico de produtos agrícolas e à sua indicação nos produtos agrícolas e nos géneros alimentícios.

Ambos os compostos são classificados como de Classe I (Anexo I), segundo o Quadro I dos Anexos referente às Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008) e por conseguinte poderão ser utilizados, genericamente, na agricultura.

4.2 Ensaaios de Crescimento

No Quadro 12 são apresentados os valores relativos aos parâmetros de estabilização para os compostos.

Quadro 12 – Parâmetros de Estabilização (Teste do auto aquecimento e AT4) para os Compostos Crivado e Não-Crivado.

Parâmetros	Composto Crivado	Composto Não-Crivado
Auto aquecimento (temperatura máxima alcançada no teste - °C)	26,4	26,6
Teste AT4 (mgO ₂ g ⁻¹ m.s.*)	7,17 ^a **	8,14 ^b

*m.s. – valores reportados à matéria seca da amostra

** as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

A avaliação da estabilidade/maturação do composto foi realizada através do teste do auto-aquecimento em vasos *Dewar*, no qual é avaliada a temperatura máxima registada nos vasos, e pelo teste do AT4, que avalia a actividade respiratória ao fim de quadro dias. A temperatura máxima registada para o composto Não-Crivado foi, ligeiramente, superior à registada no composto Crivado (Quadro 12). Assim, e de acordo com as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008) os compostos classificam-se como de grau IV e V (Anexo II).

É possível também verificar que em ambos os compostos o valor da actividade respiratória é inferior a 10 mgO₂ g⁻¹ de matéria seca e como tal significa que os

resíduos já não são biodegradáveis, de acordo com o Artigo 2 (m) da Directiva 1999/31/EC.

Os resultados relativos aos ensaios de crescimento são apresentados nos Quadros 13, 14, 15 e 16 para as espécies ensaiadas.

Quadro 13 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para o basílico.

Ensaio	Basílico	
	Peso do material vegetal (g)	Peso do material seco (g)
Ensaio com solo artificial	1,164a*	0,063a
Ensaio com solo artificial + composto	0,356b	0,023b

*as médias assinaladas com a mesma letra em cada coluna, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

Através da análise do Quadro 13 é possível verificar que o ensaio com solo artificial para o basílico apresenta resultados superiores em relação ao ensaio em solo artificial + composto para o peso do material vegetal. Para o peso do material seco observa-se o mesmo. Tanto para o peso do material vegetal como para o peso do material seco, as médias diferem significativamente para $\alpha = 0,05$.

Quadro 14 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para a salsa.

Ensaio	Salsa	
	Peso do material vegetal (g)	Peso do material seco (g)
Ensaio com solo artificial	0,379a*	0,031a
Ensaio com solo artificial + composto	0,032b	0,004b

*as médias assinaladas com a mesma letra em cada coluna, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

Para a salsa os resultados (Quadro 14) também são superiores no que se refere ao ensaio com solo artificial. Para ambos os pesos (do material vegetal e do material seco) as médias, em cada coluna, diferem significativamente para $\alpha = 0,05$.

Quadro 15 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para os coentros.

Ensaio	Coentros	
	Peso do material vegetal (g)	Peso do material seco (g)
Ensaio com solo artificial	0,397a*	0,030b
Ensaio com solo artificial + composto	0,222a	0,020b

*as médias assinaladas com a mesma letra em cada coluna, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

Em relação aos resultados para os coentros é de destacar o valor do peso do material vegetal para o ensaio com solo artificial. Tendo sido as caixas que apresentam os resultados superiores. As médias não diferem significativamente, em cada coluna, ou seja, são consideradas iguais para $\alpha = 0,05$.

Quadro 16 – Peso do material vegetal e do material seco nos ensaios de crescimento para o agrião.

Ensaio	Agrião	
	Peso do material vegetal (g)	Peso do material seco (g)
Ensaio com solo artificial	1,121a*	0,061a
Ensaio com solo artificial + composto	0,526b	0,034a

*as médias assinaladas com a mesma letra em cada coluna, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

O agrião foi a espécie que apresentou os resultados mais elevados em todas as caixas para os diferentes ensaios. Contudo, o resultado mais alto foi verificado para o peso do material vegetal no ensaio com solo artificial, comparativamente com os restantes pesos. No entanto, as médias do peso do material seco não diferem significativamente, ou seja, são consideradas iguais para $\alpha = 0,05$.

Da análise dos Quadros 13, 14, 15 e 16 é possível verificar que todas as espécies reagiram de modo diferente à presença do composto. Contudo, o ensaio com o solo artificial apresenta resultados superiores no peso de material vegetal, comparativamente com o peso do material vegetal para o ensaio com solo artificial + composto, facto que também foi observado visualmente ao longo do ensaio e é mostrado nas Figuras 7 e 8. Sendo as espécies agrião e basílico as que apresentam valores superiores para o peso vegetal. Os coentros e a salsa apresentam

valores mais baixos e portanto são as espécies que se mostraram mais sensíveis à presença do composto.

Também se observou que o composto provocou alguma compactação, facto já referido por (Ribeiro, 1996). Verificou-se que algumas sementes não germinaram, enquanto que algumas das sementes de salsa e coentros germinaram, mas as plantas acabaram por morrer, talvez devido a facto de se encontrarem muito à superfície. Durante o decorrer do ensaio e após algumas regas verificou-se alguma compactação do substrato com o composto, o que poderá ter contribuído para que as sementes que se encontravam à superfície se tenham soltado do substrato, o que levou à sua morte.

A ocorrência de compactação intensa origina uma acentuada redução do crescimento das plantas, devido à má drenagem e consequente asfixia radicular, restrições à penetração das raízes e à redução da taxa de mineralização de azoto orgânico (Ribeiro, 1996). Outro factor poderá ser a salinidade, já referida, que está por vezes associada a utilização destes compostos na formulação de substratos orgânicos.



Figura 7 - Aspecto geral do ensaio.

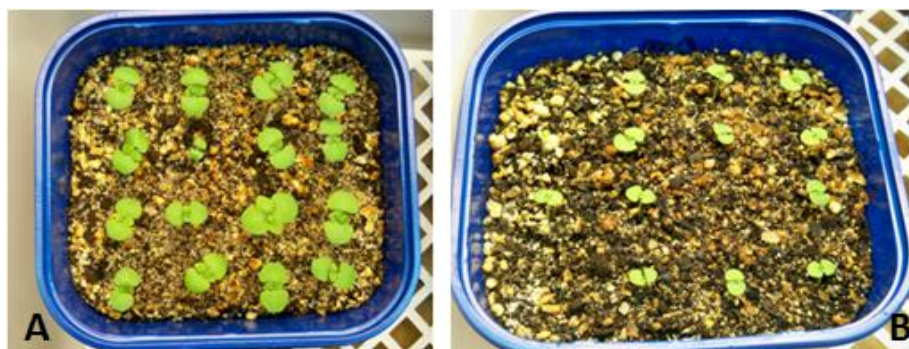


Figura 8 – Aspecto geral do ensaio de crescimento com o Basílico. A: Ensaio com o solo artificial. B: Ensaio com o solo artificial + composto.

A partir dos resultados dos pesos secos obtidos nos diferentes ensaios com as espécies vegetais ensaiadas foram calculados os índices de crescimento (IC) de acordo com a equação apresentada em 3.2.4. Os resultados do IC são apresentados no Quadro 17. Como referido estes ensaios foram apenas realizados com o composto Crivado.

Quadro 17 – Índice de Crescimento (IC) para as espécies vegetais ensaiadas.

Espécies	Índice de Crescimento (%)
Basílico	37,21 ^a *
Salsa	12,42 ^b *
Coentros	70,48 ^a *
Agrião	56,55 ^a *

*as médias assinaladas com a mesma letra, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$

Através do Índice de Crescimento é possível avaliar a fitotoxicidade dum composto. Pela observação dos dados do Quadro 17, constata-se que há diferenças de espécie para espécie. Através da análise de *Tukey* ($\alpha=0,05$) observamos que as médias do basilico, agrião e coentros são diferentes da média obtida na salsa (Anexo III).

Tendo por base o teste *t-student* com $\alpha=0,05$ é possível verificar que as médias obtidas do peso seco para as diferentes espécies utilizadas no substrato padrão -

(terra artificial) e no composto a testar são diferentes, o que também foi comprovado pelos valores do teste de *Tukey*.

Foi observado que o IC para o agrião é de 56,55%. Segundo a CCME (1996), o Índice de Crescimento (Quadro 17) para o agrião deve ser superior a 50% para que o composto possa ser considerado maturado. Este facto foi também observado para os coentros. Contudo, o mesmo não se verifica para a salsa e para o basílico. Considerando que o composto esteve cerca de um ano de estabilização e através do Quadro 17, seria de esperar que todas as espécies apresentassem um IC superior a 50%. Este facto também poderá dever-se ao facto que se tratarem de espécies mais sensíveis ao composto.

Apesar do IC não ser superior a 50%, como anteriormente referido, e segundo as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008), o composto classifica-se como maturado (Anexo II).

5. Conclusões

Após a conclusão deste trabalho é possível verificar que a compostagem apresenta-se como uma mais-valia na valorização de resíduos orgânicos. Sendo as principais vantagens a diminuição da deposição de resíduos em aterro e a utilização dos compostos na formulação de substratos orgânicos em plantas ornamentais e a sua aplicação na agricultura.

As borras de café são um resíduo orgânico, produzido em grandes quantidades, muito rico em nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Durante a fase inicial do processo de compostagem procedeu-se à monitorização da temperatura e assim, é possível afirmar que o processo decorreu com normalidade e todas as fases do processo (mesófila inicial, termófila e mesófila final) foram alcançadas. Em relação aos Parâmetros Físico e Físico-químicos podemos concluir que não existem diferenças significativas entre o composto Crivado e o Não-Crivado. Em relação ao teor de matéria orgânica dos dois compostos podemos afirmar que ambos os compostos podem ser utilizados generalizadamente na agricultura, como é citado nas Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto. O mesmo acontece com o pH, pois o valor de ambos os compostos encontram-se dentro dos limites estipulados nas Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto.

Em relação à humidade o Composto Crivado apresenta valores superiores a $40 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, valor este que segundo às Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto é o limite para que um composto possa ser utilizado na agricultura. Contudo, o composto Crivado apresenta uma humidade de $42,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, não sendo um valor significativamente superior ao recomendado. Enquanto que o Composto Não-Crivado apresenta uma humidade de $38,73 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

Pelo teste do auto-aquecimento, ambos os compostos são classificados de Classe grau IV e V.

No que diz respeito aos teores de cobre e de zinco são inferiores aos estabelecidos Regulamento (CEE) nº2092/91 do Conselho de 24 de Junho de 1991. Ambos os compostos são classificados como de Classe I segundo as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto.

O teste de actividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) indicou que ambos os compostos são considerados estáveis por apresentarem um valor de AT4 inferior a $10 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca.

A avaliação do Índice de Crescimento para o ensaio com o solo artificial e testando o agrião, basílico, coentros e a salsa indicam que as espécies reagem de forma diferente no ensaio com o solo artificial + composto. Os coentros e o agrião apresentaram valores de Índice de Crescimento superiores a 50%.

Podemos concluir que os objectivos a que nos propusemos neste trabalho foram todos alcançados. Contudo, existem outros aspectos que poderiam ser explorados: a realização de ensaios de crescimentos com um maior número de espécies; verificar o poder fertilizante do composto, as propriedades físicas (como a retenção de água, compactação entre outras), a sua aplicação após a germinação das espécies e a possibilidade de formular substratos orgânicos com várias percentagens de composto.

6. Referências Bibliográficas

Anónimo (2008). Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto.

Arruda, R.D.P. (2006). *Estudo das Potencialidades das borras de café para valorização agrícola*. Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Alimentar, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Baltazar, M. A. R. (2005). *Efeito da aplicação de R.S.U compostados e lamas celulósicas em plantações de Eucalyptus globulus Labill.* Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Baptista, J.G., Baptista, E.R.B., Mateus, F.F. (2000). Effectiveness of two biodegradation methods on the physical characteristics of compost for horticulture proposes. **In:** Proceedings of the XXV International Horticultural Congress. *Acta Horticulturae*. 7.

Baptista, M. (1997). Compostagem de resíduos agrícolas. *Gazeta das aldeias*, 101.

Bonnet, B., Wisniewski, C., Barbieri, S. (2002). Effects of substrates compose of biosolids on the production of *Eucalyptus viminalis*, *Schinus terebinthifolius* and *Mimosa scabrella* seedlings and on the nutritional status of *Schinus terebinthifolius* seedling. *Water Science and Technology*, 10, (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).

Borrego, J. V. M. (2002). *Horticultura herbácea especial*. Mundi-Prensa, Madrid.

Brito, L.M.C.M. (2005). *Manual de Compostagem* Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Superior de Viana do Castelo.

Brunt, A.C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. Unwind Hyman Ltd, London. U.K.

Canas, R. J.P. (2000). *Influência da aplicação de alguns correctivos orgânicos na produção e nutrição azotada do azevém (Lolium perenne L.)*. Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Agrónoma, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Castillo, J. E., Herrera, F., López-Bellido, R. J., López-Bellido, F. J., López-Bellido, E. J. (2004). Municipal solid waste (MSW) composts as a tomato transplant médium. *Compost Science & Utilization*, 12 (1) (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).

Chen, I., Inbar, I., Hoitink, H.A.J. (1986). *Properties for Establishing Standards for Utilization of Composts in Container Media*. In: The role of organic matter in modern agriculture. Department of Soil and Water Sciences. Faculty of Agriculture. The Hebrew University of Jerusalem. Israel. Department of plant Pathology, OARDC. Ohio State University, Wooster Ohio.

Cintra, G.D.C. (2003). *Compostagem de diferentes materiais. Monitorização e comparação de pilhas com razões carbono-azoto diferentes*. Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Alimentar, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Cordeiro, N. M. (2010). *Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos – caso de estudo da Algar S.A.* Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Cunha-Queda, C., Cordeiro, A., Ferreira, J., Nunes, M., Coelho, D., Wiersma, H.L., Oliveira, J.C., Menezes, J.B. (2005). Compostagem de resíduos agro-industriais para fertilização de culturas hortícolas e olival em agricultura biológica. V Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas. IV Congresso Iberoamericano de Ciências Hortícolas. *Actas Portuguesas de Horticultura 7*, vol 3: 275-280. Porto.

Cunha-Queda A.C.F. (2006). Compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis para uso compatível em agricultura biológica. *Vida Rural*, 1719 (54), Julho/Agosto: 37-40.

Cunha-Queda, C., Morais M.-C., Ribeiro H.M., Almeida M.H. (2010). Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros. *Revista de Ciências Agrárias* Vol. XXXIII (1): 367-375.

Decreto-Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa

Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

Diederichsen, A. (1996). *Coriander - Coriandrum sativum L.* IPGRI, Rome, Italy.

Epstein, E., Taylor, J. M. and Chaney, R. L. (1976). Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some physical and chemical properties. *Env. Qual.* 5.

EN 13037 (1999). Soil improvers and growing media – Determination of pH.

EN 13039 (1999). Soil improvers and growing media – Determination of organic matter content and ash.

EN 13040 (1999). Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests. Determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density.

EN 13650 (2001). Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements.

EN 13654-1 (2001). Soil improvers and growing media – Determination of nitrogen – Part 1: Modified Kjeldahl method.

Fernandes, P. A. L. (1999). *Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Coimbra, Coimbra.

Ferreira, C., Rebelo, M., Vaz, C., Abreu, L. (1983). “*Lixos Urbanos*” – *Fonte de matéria orgânica desperdiçada*. I Congresso Nacional das Indústrias Agro-Alimentares, Lisboa.

Ferreira, J.C., Strecht, A., Ribeiro, J.R., Soeiro, A., Cotrim, G. (2002). Manual de Agricultura Biológica. Fertilização e protecção das plantas para uma agricultura sustentável. Agrobio (ed.), Lisboa, Portugal. 435pp.

Garcia-Gomez, A., Bernal, M.P, Roig, A. (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial waste. *Bioresource Technology*, 83 (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).

Gonçalves, M.J.S. (1999). *Gestão e tratamento de resíduos sólidos urbanos. Sua valorização para fins agrícolas pelo método de compostagem*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. ISA, UTL, Lisboa.

Gonçalves, M.S. (2005). *Gestão de resíduos orgânicos*. Sociedade Portuguesa de Inovação, Porto.

He, X.T., Traiana, S.J., Logan, T.J. (1992). Chemical properties of municipal solid waste compost. *J. Environ.*, 21: 318-329 (citado por Queda, 1999).

Iannotti, D.A., Pang, T., Toth, B.L., Elwell, D.L., Keener, H.M., Hoitink, H.A.J. (1993). A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Sci. Util.*, 1(3):52-65 (citado por Queda, 1999).

- Instituto Nacional de Estatística (2008). *Estatísticas do Ambiente 2008*, Lisboa.
- Lamaire, F. (1993). Emploi des matières organique comme substrato dens les cultures hors-sol. *PHM Revue Horticole*, 336.
- Lamaire, F. A. Dartigues, L.M. Riviere e S. Charpentier. (1989). Cultures en pots et conteneus. INRA, Paris e *PHM Revue Horticole*, Limoges, França (citado por Ribeiro, 1996).
- Lopes, F.M.J.R. (2005). *Influência da Aplicação de Compostos de Resíduos Putrescíveis no Crescimento de Lepidium sativum L.*, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Martinho, M.G.M., Gonçalves, M.G.P. (2000). *Valorização e tratamento de resíduos*. In: Gestão de Resíduos. Universidade Aberta, Lisboa.125-184pp.
- Miner, J. A. (1994). *Substratos: propiedades e caracterizacion*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Espanha (citado por Ribeiro, 1996).
- Mustin, M. (1987). *Le compost Gestion de la matière organique*. Édition François Dubusc, 954 pp (citado por Cunha Queda, 1999).
- Peñulas-Rubira, J., Ocaña-Bueno, L. (2000). *Cultivo de plantas forestales en contenedores, principios e fundamentos*. Mundi Prensa libros SL, Madrid, Spain, (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).
- Pereira Neto, J. T. (1987). *On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - a Low Technology Approach*. PhD These The University of Leeds, UK.
- Perez-Murcia, M. D., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Espinosa, A., Paredes, C. (2006). Use of composted sewage sludge. In: growth media broccoli. *Bioresource Technology*, 97. (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).
- PERSU II (2007). Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016, Lisboa.
- Piedade, M., Aguiar, P. (2010). *Opções de Gestão de Resíduos Urbanos*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Lisboa.

Queda, A.C.F.C. (1999). *Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis*. Dissertação de doutoramento em Engenharia Agro-Industrial, ISA, UTL, Lisboa.

Quelhas dos Santos, J. (1991). *Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos*, Publicações Europa Améria, Mem Martins, Portugal.

Raviv, M., Tarre, S., Geler, Z., Shelef, G. (1987). Changes in some physical and chemical properties of fibrous solids from cow manure and digested cow manure during composting. *Biol. Waste*, 19: 309-318 (citado por Ribeiro, 1996).

Rau, P. (2008). *Cultura da Salsa – Método Biológico*. Jardins, Lisboa, Abril de 2008.

Regulamento (CEE) Nº 2092/91 do Conselho de 24 de Junho de 1991: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/consleg/1991/R/01991R2092-20070101-pt.pdf> (consultado em 8 de Setembro de 2011).

Ribeiro, H.M.F. (1996). *Possibilidade de Utilização de Resíduos Sólidos Urbanos Compostados na Formulação de Substratos Para Plantas Envasadas*. Dissertação de Mestrado em Nutrição Vegetal, Fertilidade dos Solos e Fertilização, ISA, UTL, Lisboa.

Ribeiro, H. M., Vasconcelos, E., Santos, J., Q. (2000). Fertilisation of potted pelargonium with a municipal solid waste compost. *Bioresource Technology*, 73, (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).

Ribeiro, H. M., Romero, A. M., Pereira, H., Borges, P., Cabral, F., Vasconcelos, E. (2007). Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresource Technology*, 98, (citado por Cunha-Queda *et al.*, 2010).

Ribeiro, H.M., Vasconcelos, E., Cabral, F., Ribeiro, D. (2009). Fertilization of *Pinus pinea* L. with a sewage sludge-based compost. *Waste Management & Research*, 27.

Rodrigues, T.M.F.M.L (1996). *Estudo do efeito de diferentes fertilizantes no crescimento, produção e qualidade de batata (*Solanum tuberosum* L.)*. Relatório do Trabalho Final do curso de Engenharia Agronómica, ISA, Lisboa.

Romero, A.M.G. (2004). *A utilização de um substrato, obtido a partir da fracção sólida de chorume de suíno e de resíduos florestais, na produção de tomate e alface em viveiro*. Relatório do Trabalho Final do curso de Engenharia Agronómica, ISA, Lisboa.

Russo, M.A.T. (2003). *Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos*. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Coimbra.

Russo, M.A.T. (2004). *Introdução à compostagem de resíduos sólidos*. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo.

Santos, J. L. D. (2007). *Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir de compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis*. Dissertação de Mestrado em Ecologia Aplicada, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Santos, L.M.C. (1993). *Resíduos com Interesse Agrícola – Evolução de parâmetros da sua compostagem*, Lisboa.

Silva, J.C.G, Tavares, M.J.C.G., Costa, M.M., Leandro, E.M. (2003). *Efeito da aplicação de lamas de ETAR compostadas no teor e natureza das substâncias húmicas do solo*, Coimbra.

Stoffella, P.J., Kahn, B.A. (2004). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola* Edicions mundi-prensa (citado por Santos, 2007).

Teodoro, A.I.M. (2006). *Obtenção de Produtos Compostados de Elevada Qualidade para Utilização em Agricultura Biológica*. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia do Ambiente Ramo Gestão e Recuperação Ambiental, ISA, Lisboa.

Tobyn, G., Denham, A., Whitelegg, M. (2010). Ocimum basilicum, basil, **In: Medical Herbs**, Chapter 22, Elsevier Ltd.

U.S.EPA. (1995). Composting. **In: Decision Makers`Guide to Solid Waste Management – Vol. II** (EPA 530-R-95-023), Chapter 7.

Vallini, G. (1995a). Compost. **In: Dizionario dell'ambiente**, Ed. Gamba, G., Martignetti, G., ISEDI, UTET Librería, Torino: 173-174.

Vallini, G. (1995b). Il compostaggio. **In: La protezione dell'ambiente in Itália**. Ed. Bertini, I., Cipollini, R., Tundo, P. Consiglio Nazionale delle Richerche, Società Chimica Italiana e Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ambiente. Bologna: 83-134 (citado por Queda, 1999).

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., De Bertoldi, M. (1981b). Evaluation toxicity of immature compost maturity. *BioCycle*, 22 (2): 54-57.

www.apa.pt (consultado em 16 de Fevereiro de 2011)

www.ine.pt (consultado em 18 de Fevereiro de 2011)

Anexos

Anexo I – Valores máximos admissíveis para os teores "totais" de metais pesados, materiais inertes antropogénicos*, pedras de granulometria superior a 5mm no Composto (valores reportados à matéria seca) e valores máximos admissíveis relativos à concentração em microrganismos patogénicos (valores reportados à matéria fresca) (fonte: Anónimo, 2008).

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (mg/kg)	0,7	1,5	3	5
Chumbo (mg/kg)	100	150	300	500
Cobre (mg/kg)	100	200	400	600
Crómio (mg/kg)	100	150	300	400
Mercúrio (mg/kg)	0,7	1,5	3	5
Níquel (mg/kg)	50	100	200	200
Zinco (mg/kg)	200	500	1000	1500
Materiais inertes antropogénicos (%)*	0,5	1	2	3
Pedras > 5mm (%)	5	5	5	-
Salmonella spp.	Ausente em 25g	Ausente em 25g	Ausente em 25g	Ausente em 25g
Escherichia coli (NMP/g)	1000	1000	1000	1000
* inclui vidro, metais e plásticos, cujas partículas apresentam uma granulometria superior a 2mm.				
Notas: Os teores "totais" corresponderão à fracção solúvel em água-régia.				

Anexo II – Categorias de Compostos em função do grau de maturação (fonte: Anónimo, 2008).

Temperaturas atingidas no teste de autoaquecimento em vasos de Dewar (T°C)	Graus	Categorias do Composto
T<40	IV e V	Maturado
40<T<50	III	Semimaturado
T>50	I e II	Fresco

Anexo III – Teste de *Tukey* para o Índice de Crescimento.

